



**Raquel Sofia V. M.
Nascimento Paulo**

Caracterização de Argamassas Industriais





**Raquel Sofia V. M.
Nascimento Paulo**

Caracterização de Argamassas Industriais

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Auxiliar da Secção Autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor António Tomás Silva da Fonseca, Professor Associado do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao meu marido e aos meus pais pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor João António Labrincha Batista
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Luís Barroso de Aguiar
Professor Associado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Prof. Doutor António Tomás Silva da Fonseca (co-orientador)
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira (orientador)
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Sendo este trabalho mais uma etapa importante no meu percurso académico e pessoal não quero deixar de agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente deram o seu contributo para a concretização do mesmo.

Aos Professores, Doutor Victor Ferreira e Doutor António Tomás da Fonseca por toda a ajuda e orientação que me disponibilizaram durante o decorrer deste trabalho.

À APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, pelo apoio na realização do trabalho. Nomeadamente, ao Eng.º Carlos Duarte pela sua colaboração e apoio na recolha de dados.

À Secil Martingança, e em particular ao Dr. Filipe Cortinhal e Eng.º José Alvarez, pelo apoio técnico, disponibilização de material e equipamentos, bem como, pela disponibilidade concedida.

À Eng.ª Cristina Sequeira, Eng.ª Dina Frade e Eng.º Artur Leirós, pelas suas sugestões, comentários, críticas e ensinamentos.

Aos meus pais, Luísa e Zé, pelo apoio incondicional, incentivo e confiança que sempre depositaram em mim.

E finalmente, ao Sérgio, meu marido, cujo apoio e dedicação extremos foram a base de motivação para chegar ao fim.

A todos muito obrigada.

palavras-chave

Argamassas; patologias de argamassas; materiais de construção.

resumo

Há milhares de anos que o uso de argamassas sempre esteve associado à construção, contudo, o início da elaboração industrial das argamassas prontas só começa a ter expressão em meados do passado século.

Em Portugal, as primeiras argamassas deste tipo começaram a ser produzidas no início dos anos 90, constituindo desta forma, um conceito relativamente recente. O avanço tecnológico na produção de argamassas, resultante do crescente desenvolvimento da construção civil, tem contribuído para aceitação destes produtos por parte do mercado.

Com o presente trabalho pretende-se elaborar uma caracterização das argamassas industriais, particularmente das argamassas secas, com o objectivo de discutir a sua qualidade intrínseca e promover a sua correcta utilização e aplicação, de modo a que se possam alcançar os resultados desejados pelos seus utilizadores, mas também, com o intuito de contribuir para a melhoria da tecnologia, adequabilidade e competências do sector das argamassas.

Deste modo, iniciou-se este trabalho com a origem e evolução destes produtos, algumas definições, classificações e propriedades. Seguidamente, estudaram-se os materiais utilizados na sua formulação, destacando-se os adjuvantes e aditivos responsáveis pela modificação das propriedades, ajustando-as a determinadas condições de uso e desempenho pré-estabelecidos. Esta é uma das distinções entre as argamassas industriais e as tradicionais. No entanto, as diferenças de umas e de outras argamassas não se extinguem na utilização de adições. As argamassas industriais, ao serem produzidas em unidades fabris, dotadas de equipamentos e tecnologia adequada, aqui descritas, são capazes de se apresentarem com as formulações rigorosas e com garantia de qualidade das suas matérias-primas.

No âmbito deste trabalho efectuou-se, ainda, o estudo do sector das argamassas industriais em Portugal, que envolveu a pesquisa, recolha de dados e a sua consequente análise e tratamento.

Por fim, são referidas e caracterizadas as patologias mais correntes e apresentados três estudos de caso associados a patologias de rebocos industriais, respectivos diagnósticos e estratégias de tratamento.

keywords

Mortars; mortars pathologies; construction materials.

abstract

For many thousands of years that the use of mortars always was associated with the construction process; however, the beginning of the industrial production of ready-to-use mortars only starts to have an expression in middle of the past century.

In Portugal, first mortars of this type started to be produced in the beginning of nineties, constituting a relatively recent concept. The technological advance in the production of mortars and the increasing development of the civil construction, has contributed for the acceptance of these products by the market.

The present work aims to elaborate a characterization of industrials mortars, particularly of dry mortars, with the purpose to value its intrinsic quality, through the correct use and application, in order to reach the results desired for its users, but also, has a clear purpose to contribute for the improvement of the technology and know-how in the mortars sector.

In this way, this work has a first approach to the origin and evolution of these products, some definitions, classifications and properties. Next, it describes the materials used in its formulations, namely, admixtures and additives responsible for the modification of their properties, adjusting them to determined conditions of daily established use and performance, thus distinguishing, industrials mortars of the traditional ones. However, the differences between these mortars do not extinguish in the use of additives. Industrials mortars, when being produced in industrial units, endowed with equipment and technology, also described here, is able to control rigorously the formulations and to guarantee the quality of its raw materials.

In the scope of this work, an overview is also given on the industrial mortar sector in Portugal, which involved the research, data collection and its consequent analysis.

Finally, it is also reported and characterized the most current pathologies and presented three study-cases associated with industrial render pathologies, respective diagnosis and treatment strategies.

Índice

1.	Introdução	7
1.1	Enquadramento e objectivos	7
1.2	Conteúdo	8
2.	História das argamassas.....	13
2.1	Evolução das argamassas tradicionais desde a antiguidade	13
2.2	Origem e evolução das argamassas industriais	14
3.	Argamassas.....	21
3.1	Definição e conceitos	21
3.2	Classificação	21
3.2.1.	Classificação de acordo com o local de produção	22
3.2.2.	Classificação de acordo com a concepção	22
3.2.3.	Classificação de acordo com as suas propriedades e utilização	23
3.3	Funções e propriedades	25
3.3.1.	Argamassas de reboco em pasta	26
3.3.2.	Argamassas de reboco endurecidas	26
3.3.3.	Argamassas de assentamento de alvenaria em pó	28
3.3.4.	Argamassas de assentamento de alvenaria em pasta	28
3.3.5.	Argamassas de assentamento de alvenaria endurecidos	28
3.3.6.	Cimentos-cola	30
4.	Caracterização dos constituintes das argamassas.....	37
4.1	Agregados	37
4.1.1.	Requisitos geométricos	40
4.1.2.	Requisitos físicos e químicos	43
4.1.3.	Fornecimento e armazenamento	44
4.2	Ligantes	44
4.2.1	Ligantes de cimento	45
4.2.2	Ligantes de cal	46
4.2.3	Ligantes de gesso	49
4.3	Adjuvantes e adições	50
4.3.1	Adjuvantes	51
4.3.1.1.	Modificadores da reologia de massa fresca	52
4.3.1.2.	Modificadores de tempo de presa	55
4.3.1.3.	Impermeabilizantes e hidrófugantes	56
4.3.1.4.	Expansivos	56
4.3.2	Adições	57
4.4	Água de amassadura.....	60
5.	Processo produtivo das argamassas industriais	65
5.1	Preparação de matérias-primas e ensilagem	65
5.1.1	Extracção e britagem de agregados	65
5.1.2	Secagem, moagem, classificação e ensilagem de agregados.....	66
5.1.3	Recepção e ensilagem de outras matérias-primas	68
5.2	Dosagem e mistura	68
5.3	Ensilagem, ensacagem e expedição	69
5.3.1	Ensilagem do produto acabado a granel	69
5.3.2	Ensacagem, paletização e plastificação do produto acabado em saco	69
5.4	Controlo e automação.....	70
5.5	Controlo Ambiental	72
5.5.1	Aspectos ambientais de uma fábrica de argamassas	75
6.	O sector nacional das argamassas industriais.....	87
6.1	Metodologia da recolha de dados	88
6.2	Análise dos dados	89
6.2.1	Situação actual	89
6.2.2	Tendências	96

7.	Patologias das argamassas	101
7.1	Considerações gerais	101
7.2	Caracterização das patologias mais relevantes	104
7.3	Aspectos de obra – Casos de estudo	111
7.3.1	Efeitos da adição de cimento numa argamassa industrial	111
7.3.1.1.	Enquadramento.....	111
7.3.1.2.	Procedimento experimental	112
7.3.1.3.	Resultados e discussão	113
7.3.2	Efeitos da adição de gesso em argamassas industriais	116
7.3.2.1.	Enquadramento.....	116
7.3.2.2.	Procedimento experimental	117
7.3.2.3.	Resultados e discussão	118
7.3.3	Efeito da água em excesso e correlação de dois métodos de consistência	121
7.3.3.1.	Enquadramento.....	121
7.3.3.2.	Procedimento experimental	122
7.3.3.3.	Resultados e discussão	125
8.	Conclusões.....	131
9.	Referências bibliográficas	137

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de uma fábrica de argamassas para silo de dupla câmara	15
Figura 2: Silo de dupla câmara	16
Figura 3: Esquema em corte de uma fábrica de Argamassas Industriais	17
Figura 4: Esquema de uma distribuição de tamanhos alargada	38
Figura 5: Acção dispersiva dos plastificantes:	52
Figura 6: Retardador de presa:	56
Figura 7: Fluxograma do processo produtivo de argamassas secas	65
Figura 8: Secador de leite Fluidizado	66
Figura 9: Esquema exemplificativo de um Secador de leite Fluidizado:	66
Figura 10: Classificador / Crivos dos silos	67
Figura 11: Aspecto de um misturador.....	69
Figura 12: Detalhe da forma do fluxo de ensacamento.....	70
Figura 13: Esquema em corte de uma fábrica de argamassas secas	71
Figura 14: Etapas metodológicas	88
Figura 15: Distribuição da produção nacional de argamassas	90
Figura 16: Distribuição da Produção das Argamassas Industriais em Portugal, APFAC, 2004	90
Figura 17: Crescimento de produção de argamassas entre 2002-2004.	91
Figura 18: Capitação de Argamassas Fabris (kg/habitante), fonte APFAC, 2004	91
Figura 19: Distribuição geográficas das empresas produtoras de argamassas industriais e sua natureza, APFAC, 2004	93
Figura 20: Distribuição por tipo de produto de argamassas secas	94
Figura 21: Distribuição por tipo de expedição	95
Figura 22: Argamassas industriais vs argamassas tradicionais (t), fonte APFAC, 2004	95
Figura 23: Perspectiva de crescimento (t), APFAC, 2004.....	97
Figura 24: Perspectiva de crescimento: argamassas fabris vs argamassas industriais (t), APFAC, 2004	98
Figura 25: Fissuração generalizada, sem orientação	108
Figura 26: Sombreamentos ou transparências	108
Figura 27: Manchas esbranquiçadas: a) Eflorescências; b)Carbonatações	108
Figura 28: Descolamento com áreas extensas.....	109
Figura 29: Descolamento com empolamento	109
Figura 30: Junta de dilatação estrutural não eficaz para o revestimento.....	109
Figura 31: Aspecto da patologia na argamassa com adição de 5% de cimento.	114
Figura 32: Aspectos da patologia na argamassa com adição de 10% de cimento.	115
Figura 33: Exemplos da aplicação de arestas	117
Figura 34: Aspecto da patologia.....	118
Figura 35: Difractograma de raio-X: amostra do produto em pó (PP)	120
Figura 36: Difractograma de raio-X: amostra da camada interna (CI)	120
Figura 37: Difractograma de raio-X: amostra da camada externa (CE)	120
Figura 38: Preparação das amostra: pesagem e mistura das argamassas	124
Figura 39: Determinação da consistência pelo método da mesa de espalhamento	124
Figura 40: Determinação da consistência pelo método do punção de penetração.....	124
Figura 41: Correlação dos métodos de consistência nas argamassas (1) e (2)	126

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela resumo da classificação de argamassas	23
Tabela 2: Requisitos para as propriedades do produto em pasta	26
Tabela 3: Classificação para as propriedades do produto endurecido	26
Tabela 4: Requisitos para as propriedades do produto endurecido e respectiva norma de ensaio ..	27
Tabela 5: Requisitos para as propriedades do produto em pó e respectiva norma de ensaio	28
Tabela 6: Requisitos para as propriedades do produto fresco e respectivas normas de ensaio	28
Tabela 7: Requisitos para as propriedades do produto endurecido e respectiva norma de ensaio ..	29
Tabela 8: Classes de resistência à compressão	30
Tabela 9: Tipos de colas	31
Tabela 10: Especificações para cimentos-cola	32
Tabela 11: Designação e classificação	33
Tabela 12: Limites de sobretamanhos e de subtamanhos	41
Tabela 13: Tolerâncias de granulometria típica para agregados de utilização corrente	42
Tabela 14: Requisitos da granulometria dos fillers	42
Tabela 15: Limites para o teor de finos	43
Tabela 16: Tipos de cal de construção	47
Tabela 17: Resistência à compressão de cal hidráulica e da cal hidráulica natural	48
Tabela 18: Características principais das cinzas volantes produzidas em Portugal (Relatório de Ensaio da Central Termoeléctrica de Sines, 2004)	59
Tabela 19: Definição do valor de espalhamento de vários tipos de argamassas de acordo com a massa volúmica em estado fresco (EN1015-2: 1998)	61
Tabela 20: Lista de resíduos produzidos em unidades fabris de argamassas	79
Tabela 21: Produção de argamassas secas	92
Tabela 22: Distribuição da produção, fonte APFAC, 2004	92
Tabela 23: Tipos de argamassas produzidas em Portugal	93
Tabela 24: Patologias e causas possíveis em rebocos industriais	105
Tabela 25: Patologias e causas possíveis em revestimento cerâmico	106
Tabela 26: Patologias e causas possíveis em revestimento de pedra	107
Tabela 27: Técnica de tratamento de patologias em revestimento	110
Tabela 28: Determinação da retracção das amostras.	114
Tabela 29: Teor de sulfatos e perda ao fogo das amostras	119
Tabela 30: Descrição do plano de ensaios - Argamassa 1	123
Tabela 31: Descrição do plano de ensaios - Argamassa 2	123
Tabela 32: Resultados da consistência - Espalhamento vs Penetração	125
Tabela 33: Resistências à compressão das amostras	126
Tabela 34: Capilaridade média e massa volúmica das amostras	127

1. INTRODUÇÃO

- 1.1. Enquadramento e Objectivos
- 1.2. Conteúdo

1. Introdução

1.1 Enquadramento e objectivos

As argamassas secas industriais, de uso corrente há algumas décadas em quase toda a Europa, constituem um conceito relativamente recente na construção civil em Portugal. A introdução deste tipo de argamassas, em território nacional, faz-se no início da década de 90, do século XX.

A sua aceitação pelo mercado desenvolve-se de forma expansiva, com especial incidência para o mercado do norte do país, por força das técnicas utilizadas tradicionalmente no revestimento de panos de parede, fundamentalmente em superfícies exteriores. As argamassas secas, neste caso, permitem aplicar numa só operação, através de um sistema monocapa ou monocamada, um revestimento de paredes e tectos exteriores, que tradicionalmente se compunha de chapisco, cerzite, chapisco e reboco/emboço, mantendo-se as texturas tradicionais (areados e talochados) da construção portuguesa. Esta substituição apresenta vantagens significativas ao nível de custo, onde a componente mão-de-obra é particularmente importante.

No entanto, as vantagens imediatas das argamassas não se resumem à rentabilidade dos recursos em obra. Ao serem produzidas em unidades industriais, dotadas dos meios técnicos e humanos adequados, estas argamassas devem cumprir requisitos que não são exigíveis a argamassas produzidas em obra, em que se usam equipamentos rudimentares, matérias-primas de qualidade não controlada e processos pouco rigorosos.

Deste modo, este trabalho pretende caracterizar as argamassas industriais ao nível da sua produção, classificação, propriedades e seus constituintes; desenvolver um conhecimento, mais alargado, do sector de mercado existente no território nacional; apresentar e caracterizar algumas das patologias correntes que claramente, constituem um insucesso a estes materiais, podendo-se traduzir em reparações com custos significativos e contribuindo para uma degradação da qualidade da construção em Portugal.

1.2 Conteúdo

No desenvolvimento deste trabalho, entendeu-se por bem fazer uma caracterização das argamassas industriais, particularmente das argamassas secas, com o objectivo de contribuir para a qualidade e competências no sector das argamassas de modo a incrementar o nível da qualidade da construção portuguesa. Paralelamente, apresentam-se alguns estudos de casos associados a patologias correntes e respectivas estratégias de tratamento.

Assim, este trabalho apresenta-se estruturado em duas partes.

A primeira engloba o capítulo 2 a 6, apresentando-se a revisão bibliográfica, a origem histórica e respectivas evoluções das argamassas (capítulo 2); a definição, classificação, funções e propriedades das argamassas industriais (capítulo 3) e caracterização dos seus constituintes (capítulo 4). O capítulo 5 é dedicado à descrição do processo de fabrico das argamassas secas, de modo a obter-se um conhecimento geral da sequência de produção e suas características.

No capítulo 6, desenvolve-se o conhecimento da situação actual do sector das argamassas no território nacional, bem como, se aponta algumas tendências futuras. Este capítulo encerra a pesquisa dos dados disponíveis e a sua análise e tratamento, com o objectivo de possibilitar o fornecimento de dados estatísticos fiáveis para fins nacionais e europeus.

A segunda parte do trabalho é constituída pelos capítulos 7 e 8 e contempla algumas considerações gerais sobre patologias; caracterização das patologias mais correntes das argamassas e uma apresentação de estudos de casos de patologias verificados em obra. Ainda no capítulo 7, houve a necessidade de dar resposta a algumas questões relacionadas com:

- Compatibilidade dos constituintes de formulação de forma a garantir o eficiente desempenho das argamassas;
- Adequação e boas práticas das técnicas de aplicação e construção;
- Diagnóstico de patologias apresentadas;
- Tratamento das patologias abordadas.

No capítulo 8 apresentam-se as conclusões mais importantes, resultantes do trabalho desenvolvido.

2. HISTÓRIA DAS ARGAMASSAS

- 2.1. Evolução das argamassas tradicionais desde a antiguidade
- 2.2. Origem e evolução das argamassas industriais

2. História das argamassas

2.1 Evolução das argamassas tradicionais desde a antiguidade

Há milhares de anos que a arquitetura e a construção de edifícios sempre esteve muito associada ao uso de argamassas.

O homem primitivo, na tentativa de melhorar a sua qualidade de vida, procurou dentro dos recursos naturais criar condições favoráveis para se proteger, passando a edificar abrigos. Inicialmente, estas edificações eram frágeis, porém com a evolução do conhecimento dos materiais existentes passou-se a edificar construções mais sólidas.

Supõe-se que no começo, há mais de 8 mil anos, certos povos empilhavam tijolos de adobe (argila amassada com água e seca ao sol) ou pedras umas sobre as outras de modo aleatório, a seco ou com interposição duma fina camada de argila amassada com água [1,2].

É fácil perceber como esta técnica comprometia a estabilidade das edificações e algumas civilizações evoluíram essa técnica talhando as pedras em formatos adequados e desenvolvendo uma massa plástica contendo cal, gesso, areia, pedras, fragmentos de tijolo e água, de modo a conferir mais estabilidade. Há cerca de 6 mil anos foram usadas estas argamassas na Babilônia e deste modo, conseguiram executar edificações que duraram séculos [1].

Mais tarde os homens tiveram a ideia de misturar um material aglomerante, a pozolana (cinzas vulcânicas), com materiais inertes e estas argamassas hidráulicas foram bastante usadas por civilizações Fenícias, Gregas e Romanas [3,4,5]. Portanto, há mais de 3000 anos, que este material vem sendo utilizado tanto para pavimentar as edificações, como para unir e revestir os blocos que formam as paredes e os muros das mesmas [6].

As misturas de aditivos e adjuvantes (como sabões, resinas, proteínas e cinzas) com os ligantes e agregados são também conhecidos, desde a Antiguidade e Idade Média, para aumentar a performance dos resultados pretendidos com as argamassas [3,4,5]. Os Romanos, por exemplo, utilizavam já o sangue, banha e o leite como adjuvantes nas

argamassas hidráulicas, talvez com o fim de melhorar trabalhabilidade [1,7,8]. Hoje sabe-se que estas substâncias provocam a introdução de ar, sob a forma de bolhas, o que pode ter contribuído para a duração das edificações Romanas [1].

2.2 Origem e evolução das argamassas industriais

Em 1893 foi registada a primeira patente de manufactura de argamassas secas na Europa. No entanto, ainda em 1950, o cimento era enviado para as obras de forma separada dos agregados, especialmente areias de quartzo, onde seriam armazenados até ao momento da utilização, sendo então misturadas com água, nas proporções pretendidas e em seguida aplicadas, antes de acabar o seu tempo aberto [1,9]. Desta forma, ao montar o estaleiro de obra seria necessário garantir a existência de espaço suficiente não apenas para o armazenamento das matérias-primas, como para a sua mistura. Seria também necessário afectar mão-de-obra exclusivamente para a tarefa de dosar e preparar as argamassas, sendo que apesar deste facto, poucas ou nenhuma garantias existiriam acerca da constância da qualidade das argamassas produzidas.

Entre 1950 e 1960, tanto na Europa Central como nos Estados Unidos, a nova indústria de construção, com maior exigência em qualidade e rapidez de execução, iria obrigar à substituição da mistura dos componentes das argamassas na obra, por argamassas secas prontas a aplicar. Evolui-se também no transporte, com sistematização do transporte a granel e a mecanização dos sistemas de mistura [1,9].

Face a este cenário surgiria uma nova indústria na construção civil, a das *Argamassas Industriais*, fabricadas em fábrica, que possibilitou uma progressiva melhoria na qualidade das argamassas utilizadas e também a criação de uma vasta gama de produtos, com maior grau de especificação.

Nos anos sessenta, inicia-se no centro da Europa, a utilização de argamassas preparadas em centrais, transportadas em camiões cisternas para obra. Estas argamassas são denominadas *Argamassas Retardadas ou Estabilizadas* [1,9,10].

A estabilização destas é conseguida à base de adjuvantes retardadores de presa e introdutores de ar. Os componentes destas argamassas, doseados por peso, normalmente, numa central de betonagem, são transportados para obra e aí depositados,

em recipientes específicos, os quais têm por norma uma cubicagem de 250 a 350 litros cada, ou seja, $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ metro cúbico.

Estas *Argamassas Estabilizadas* permitem a sua utilização num prazo que oscila entre as 12, 24 ou 32 horas no máximo. Este sistema ainda hoje é utilizado, todavia, o seu mercado tem vindo a ser substituído gradualmente pelo das *Argamassas Secas*, as quais permitiram um novo acréscimo qualitativo e uma especialização que as *Estabilizadas* não conseguem oferecer.

As *argamassas secas*, à semelhança das *argamassas estabilizadas* resultam da mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes doseados e misturados em centrais especializadas, no entanto apresentam-se “em pó”. Uma vez produzidas, as *argamassas secas* são seguidamente, transportadas para a obra, em camiões cisternas e ali misturadas com água, em betoneiras normais ou em máquinas de amassadura e projecção.

As primeiras centrais produziam argamassas a partir de agregados húmidos e secos, utilizando para esse fim dois tipos de silos:

- De *Dupla Câmara* (Figura 1), para areias húmidas, sendo neste caso a dosificação de dois tipos:
 - a) contínua por volume – *dosificação volumétrica*
 - b) descontínua por peso – *dosificação por peso*;
- De uma *Única Câmara*, para areias secas, utilizando-se neste caso dois tipos de silos, o de gravidade e o pressurizado.

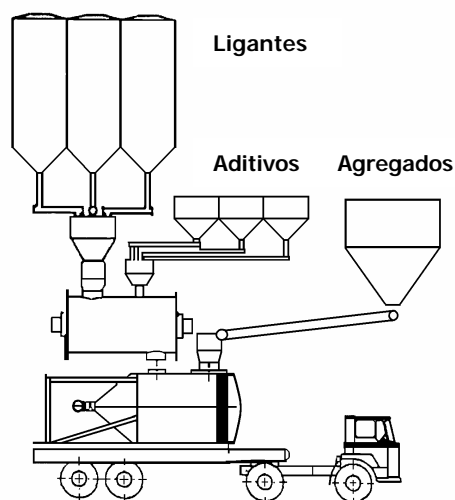


Figura 1: Diagrama de uma fábrica de argamassas para silo de dupla câmara

Os *Silos de Dupla Câmara* (Figura 2) caracterizam-se por possuírem no seu interior um septo, e portanto, dois compartimentos estanques, um para a areia e outro para o ligante. Esta separação dos componentes permite que, durante o transporte e armazenagem, não haja contacto entre os componentes e por consequência, não se inicie o processo de hidratação conducente à presa da argamassa.

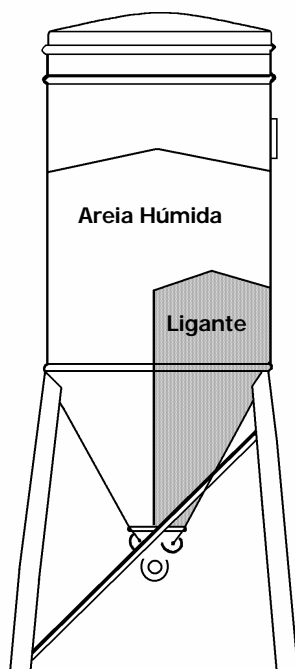


Figura 2: Silo de dupla câmara

A dosificação volumétrica exigia que os silos fossem equipados com equipamentos do tipo sem-fim, accionados por variadores de velocidade para extracção dos componentes e um pequeno tegão, com acesso a um misturador contínuo. Este processo acarretava inconvenientes, dado ser difícil garantir que não ocorressem pequenas variações no fluxo de queda dos componentes o que implicava a não homogeneidade das argamassas.

Na dosificação por peso, os componentes eram extraídos das câmaras por equipamentos do tipo sem fim, sendo despejados numa balança, e seguidamente vertidos num misturador. Os silos são equipados com uma misturadora descontínua.

Apesar da desvantagem da descontinuidade, este processo de pesagem permite um maior rigor qualitativo para as argamassas.

Mais tarde, nos anos 80, dada a tecnologia cada vez mais avançada no domínio dos equipamentos fabris e face às quantidades envolvidas na produção, as argamassas passaram a ser produzidas em fábricas especialmente desenhadas para esta nova indústria (Figura 3) [9].

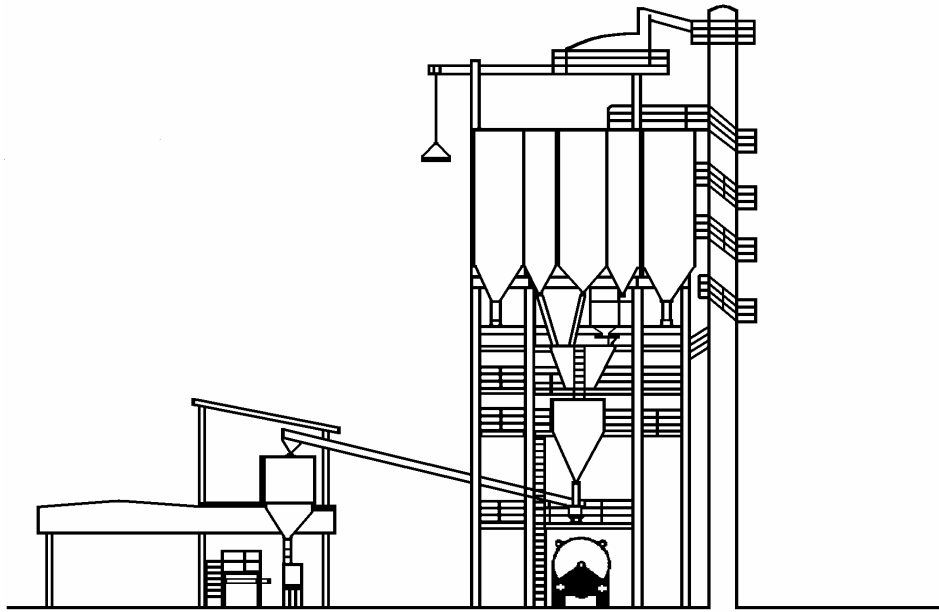


Figura 3: Esquema em corte de uma fábrica de Argamassas Industriais

Se originalmente, as argamassas eram formuladas com base na cal e nas areias, o natural desenvolvimento das formulações fez com que as novas argamassas feitas em fábricas se baseassem em agregados minerais, ligantes de vários tipos, como o cimento, cal hidratada, cal hidráulica e gesso e adjuvantes químicos.

Por estes motivos, têm-se multiplicado na Europa, os fabricantes de Argamassas Industriais, localizados geralmente junto dos grandes centros consumidores.

Como já se disse, com o passar do tempo as *Argamassas Secas* foram ganhando mercado às *Argamassas Estabilizadas*, devido a várias circunstâncias, das quais se destaca o aspecto qualitativo e o da especialização.

O custo da secagem de areias tem algum significado no investimento fabril e no consumo energético, mas em contrapartida, o custo dos equipamentos para utilização de areias húmidas é substancial e a sua versatilidade pequena. Assim, alguns dos fabricantes de *Argamassas Secas* passaram a fabricar os seus produtos a partir de agregados secos,

utilizando para o efeito equipamento de secagem que permite trabalhar com um grau de humidade inferior de 0.3%.

No envio a granel, são utilizados silos de uma *Única Câmara*, os quais podem operar por gravidade ou sob pressão. Com os silos, outro equipamento complementar segue para obra, isto é, a máquina misturadora ou misturadora projectora, e ainda um compressor para pressurizar os silos.

O abastecimento dos silos de argamassas secas em obra é feito através de camiões cisternas. A deslocação de silos na obra é feita através de camiões porta silos, os quais são também responsáveis pelo transporte inicial do silo para a obra e pela sua retirada.

As argamassas secas feitas em fábrica deram rapidamente origem a produtos mais especializados. Assim, para além de argamassas de rebocos e argamassas de alvenaria, surgiram outros produtos como argamassas para pavimento (betonilhas), de regularização, etc, existindo hoje, uma enorme diversidade de argamassas industriais.

Em 1991, dado o desenvolvimento desta actividade industrial, nasceu um organismo associativo que uniu as associações nacionais europeias de fabricantes de argamassas de construção, *EMO – European Mortar Organization* [11].

Em Portugal, a associação nacional, denominada APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, foi constituída em Julho de 2002 e conta com 12 associados que corresponde a 15 unidades fabris, representando mais de 80% de produção nacional [12].

3. ARGAMASSAS

- 3.1. Definição e conceitos
- 3.2. Classificação
- 3.3. Funções e propriedades

3. Argamassas

3.1 Definição e conceitos

As argamassas definem-se como uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes [13].

O tipo de materiais utilizados influencia as propriedades da argamassa, dependendo principalmente do tipo de aplicação e não apenas da época em que as argamassas foram aplicadas [4,14,15,16].

Uma argamassa pode ser considerada como uma rocha artificial, constituída por pequenos fragmentos de rocha, agregados por um ligante que mantém a forma do conjunto e lhe confere solidez. A água, a areia ou os agregados são misturados com minerais naturais que permitem produzir a "rocha artificial". A formulação da argamassa é normalmente baseada na premissa que os vazios existentes no volume de agregados, cerca de 25 - 40%, devem ser preenchidos com ligante que vai também proporcionar coesão à mistura final [17,18].

A mistura destes constituintes em proporções estudadas, deve ser homogênea e de acordo com o tipo de argamassa pretendida. Estes materiais apresentam como propriedades quando recém-misturados, uma boa plasticidade, enquanto que, quando endurecidas possuem rigidez, resistência e aderência.

3.2 Classificação

As normas EN 998-1:2003 [19] e EN 998-2:2003 [20] classificam as argamassas de acordo com três conceitos diferentes:

- De acordo com o local de produção
- De acordo com a concepção
- De acordo com as suas propriedades e utilização

3.2.1. Classificação de acordo com o local de produção

Classificam-se nos seguintes três grupos:

Argamassas Industriais - são aquelas que são doseadas e misturadas em fábrica. Podem-se apresentar “em pó”, requerendo apenas a adição de água ou “em pasta”, já amassada pronta a aplicar.

Argamassas industriais semi-acabadas - são argamassas pré-doseadas, a modificar em obra. Dentro deste grupo existem as argamassas pré-doseadas e as argamassas pré-misturadas.

- **Argamassas pré-doseadas** - são aquelas cujos componentes são doseados em fábrica e fornecidos em obra, onde serão misturados segundo instruções e condições do fabricante.
- **Argamassas pré-misturadas** - são aquelas cujos componentes são doseados e misturados em fábrica, fornecidos em obra, onde serão adicionados outros componentes que o fabricante especifica ou também fornece.

Argamassas feitas em obra (ou tradicionais) – são argamassas compostas por constituintes primários (por exemplo, ligantes, agregados e água) doseados e misturados em obra.

3.2.2. Classificação de acordo com a concepção

Segundo a sua concepção definem-se dois tipos de argamassas:

Argamassas de Desempenho (ou de prestação), cuja composição e processo de fabrico estão definidos pelo fabricante com vista a obter propriedades específicas;

Argamassas de Formulação, que se fabricam segundo uma composição pré-determinada, para a qual as propriedades obtidas dependem da proporção entre os componentes.

3.2.3. Classificação de acordo com as suas propriedades e utilização

As propriedades e a sua utilização estão directamente associadas ao fim a que se destinam como, por exemplo, os rebocos, monomassas, argamassas de alvenaria, etc.

A tabela 1 resume a classificação anteriormente descrita.

Tabela 1: Tabela resumo da classificação de argamassas

	Argamassas de Reboco exteriores e interiores [19]	Argamassas de Assentamento de alvenaria [20]
De acordo com o local de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Reboco industrial • Reboco industrial semi-acabado • Reboco feito em obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa industrial • Argamassa industrial semi-acabada • Argamassa feita em obra
De acordo com a concepção	<ul style="list-style-type: none"> • Reboco de desempenho (ou de prestação) • Reboco de formulação 	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de desempenho (ou de prestação) • Argamassa de formulação
De acordo com as suas propriedades e utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Reboco de uso geral (GP) • Reboco leve (LW) • Reboco colorido (CR) • Monomassa (OC) • Reboco de renovação (R) • Reboco de isolamento térmico (T) 	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de uso geral (G) • Argamassa de alvenaria em camada fina (T) • Argamassa leve (L)

No entanto, são consideradas outras classificações possíveis, do ponto de vista da sua aplicação e ainda segundo o tipo de ligante [3,14,15,17,18,21].

Assim, a classificação de argamassas de acordo com a sua aplicação pode ser feita em 5 grandes grupos:

Argamassas de alvenaria, são utilizadas para elevar muros e paredes quer de tijolos quer de blocos. Os seus principais requisitos são a resistência, boa aderência às estruturas e capacidade de absorver movimentos devidos a tensões mecânicas, variações térmicas e de humidade.

Argamassas de revestimento, são utilizadas para revestir paredes e muros, podendo ser hidrófugadas ou não, pintadas ou ser alvo de uma variedade de acabamentos. Podem ainda, apresentar cores variadas ou texturas especiais.

As argamassas de reboco monocamada, pretendem desempenhar as funções de um reboco tradicional em várias camadas. São aplicáveis por projecção em monocamada e por isso têm a vantagem da rapidez e facilidade de aplicação. A constituição é semelhante à dos rebocos tradicionais, com a diferença que a dosagem é feita de acordo com uma composição estudada, os constituintes são seleccionados e a mistura é corrigida com adjuvantes, em pequenas doses, mas com efeito sensível. Podem ser pigmentados na massa, pelo que, nestes casos, dispensam a aplicação de pintura [7].

Cimentos-cola, resultam da mistura de ligantes hidráulicos, de cargas minerais e de aditivos orgânicos. O cimento-cola deve ser simplesmente misturado com água ou com o líquido de amassadura imediatamente antes da sua utilização [22].

Os cimentos-cola são utilizados para colar elementos cerâmicos sobre um suporte, quer de reboco quer directamente sobre a parede ou chão [23].

Massas para juntas, são utilizadas para preencher as juntas entre os elementos dos revestimentos. Podem ter funções estéticas (apresentando-se em diferentes cores) ou funcionais (tendo propriedades impermeabilizantes).

As características destes produtos têm em conta as tensões normais resultantes da aplicação de pavimento e revestimento e o seu uso nas juntas permite atenuar tais tensões. Muitas das propriedades destas argamassas são determinadas pelo tipo de ligante utilizado e pela sua composição química [23].

Argamassas de suporte para pavimentos, são utilizadas na regularização de pavimentos, para nivelar e alisar uma superfície horizontal, podendo ser revestidas com uma grande variedade de tipos de pavimentos, como azulejo, pavimento flutuante entre outros. O seu requisito principal é uma elevada resistência à compressão, resultante dos materiais, cal e principalmente, o cimento que lhe podem conferir esta característica [18].

Na fabricação de argamassas podem-se usar diferentes tipos de ligantes, dando origem à classificação de acordo com o tipo de ligante. Deste modo tem-se as argamassas

baseadas em cimento, cal aérea e cal hidráulica e as argamassas mistas ou bastardas quando há mistura de ligantes (cimento/cal) [24].

3.3 Funções e propriedades

As funções das argamassas estão directamente associadas ao fim a que se destinam e pode-se mesmo dizer, que derivam da classificação segundo a sua aplicação. Desta forma, pode-se enumerar algumas das funções possíveis:

- Unir com solidez elementos de alvenaria e ajudar a resistir aos esforços horizontais que ocorrem numa parede, como flexão e cisalhamento causado pelo vento, perpendiculares ou paralelos ao plano das paredes.
- Absorver algumas das deformações que a alvenaria ou juntas sofrem naturalmente.
- Selar as juntas contra a infiltração de água.
- Colar materiais de revestimento.
- Dar acabamento em tectos e paredes (rebocos), em regularização de pavimentos (betonilhas), nas reparações de obras de betão, em obras de reabilitação, etc..

No âmbito do desenvolvimento das propriedades das argamassas serão apenas abordadas as argamassas de revestimento interiores e exteriores [19], argamassas de assentamento de alvenarias [20] e os cimentos-cola [22].

Seguidamente são apresentadas as propriedades que definem as características e os métodos de ensaio das argamassas, tanto em pasta como no estado endurecido para argamassas de revestimento interiores e exteriores e argamassas de assentamento de alvenarias.

3.3.1. Argamassas de reboco em pasta

A tabela 2, apresenta resumidamente, os requisitos para as propriedades do produto em pasta e respectivas normas de ensaio.

Tabela 2: Requisitos para as propriedades do produto em pasta

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de reboco					
		Uso geral GP	Leve LW	Colorido CR	Monomassa OC	Renovação R	Isol. Térm. T
Tempo aberto (min)	EN 1015-9	= Valor declarado Apenas em rebocos que contenham aditivos para controlar a presa. Por exemplo rebocos estabilizados.					
Ar contido (%)	EN 1015-7	Intervalo de valores declarados Apenas em rebocos em que seja relevante para o fim em uso. Por exemplo para rebocos projectados.					

3.3.2. Argamassas de reboco endurecidas

Os diferentes campos de aplicação e as diferentes condições de exposição requerem rebocos com diferentes propriedades e diferentes níveis de desempenho.

A norma EN 998-1:2003 [19] prevê a classificação dos rebocos em categorias relativamente a três propriedades do produto endurecido, tabela 3:

Tabela 3: Classificação para as propriedades do produto endurecido

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão a 28 dias	CS I	0.4 a 2.5 N/mm ²
	CS II	1.5 a 5.0 N/mm ²
	CS III	3.5 a 7.5 N/mm ²
	CS IV	= 6 N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	c = 0.40 kg/(m ² .min ^{0.5})
	W 2	c = 0.20 kg/(m ² .min ^{0.5})
Condutividade Térmica	T 1	= 0.1 W/m.K
	T 2	= 0.2 W/m.K

Esta norma estabelece ainda, diferentes requisitos para os diferentes tipos de reboco, tabela 4.

Tabela 4: Requisitos para as propriedades do produto endurecido e respectiva norma de ensaio

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de reboco					
		Uso geral GP	Leve LW	Colorido CR	Monomassa OC	Renovação R	Isol. Térm. T
Massa volúmica (kg/m³)	EN 1015-10	Intervalo de valores declarados	Intervalo de valores declarados =1300	Intervalo de valores declarados			
Resistência à compressão (categorias)	EN 1015-11	CS I a CS IV	CS I a CS III	CS I até CS IV		CS II	CS I até CS II
Aderência (N/mm²) e tipo de fractura (A, B, C)	EN 1015-12	= Valor declarado e tipo de fractura			-	= Valor declarado e tipo de fractura	
Aderência após ciclos de cura (N/mm²) e tipo de fractura (A, B, C)	EN 1015-21	-			Valor declarado e tipo de fractura	-	
Absorção de água por capilaridade (categorias) <i>apenas rebocos exteriores</i>	EN 1015-18	W0 até W2			W1 até W2	=0.3kg/m2 após 24h	W1
Penetração de água após ensaio de capilaridade (mm)	EN 1015-18	-				= 5 mm	-
Permeabilidade à água, após ciclos cura. (ml/cm² após 48h)	EN 1015-21	-			= 1 ml/cm² após 48h	-	
Coefficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ) <i>apenas rebocos exteriores</i>	NP EN 1015-19	= Valor declarado				=15	
Condutividade térmica (W/m.K)	EN 1745 Tabela A.12	Valor tabelado					-
	EN 1745 Ponto 4.2.2	-					T1: = 0.10 T2: = 0.20
Reacção ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Classe declarada: <ul style="list-style-type: none"> Rebocos, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica inferior a 1%, podem ser classificados como classe A1, sem necessidade de efectuar qualquer teste. Rebocos, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica superior a 1%, devem ser classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada a respectiva classe de reacção ao fogo. 					
Durabilidade		Não há requisitos prescritos para a durabilidade excepto para as monomassas, nas quais, a aderência e a permeabilidade à água após ciclos de cura, têm que ser avaliados.					

3.3.3. Argamassas de assentamento de alvenaria em pó

A tabela 5, apresenta, a dimensão máxima de grão (granulometria) com o requisito para as propriedades do produto em pó e respectiva normas de ensaio.

Tabela 5: Requisitos para as propriedades do produto em pó e respectiva norma de ensaio

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de argamassa		
		Uso geral G	Camada fina T	Leve L
Dimensão máx. de grão (mm)	EN 1015-1	-	Valor declarado (não pode exceder 2 mm)	-

3.3.4. Argamassas de assentamento de alvenaria em pasta

Seguidamente apresentam-se resumidos os requisitos para definição das propriedades do produto fresco e respectivas normas de ensaio, Tabela 6.

Tabela 6: Requisitos para as propriedades do produto fresco e respectivas normas de ensaio

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de argamassa		
		Uso geral G	Camada fina T	Leve L
Tempo aberto (min)	EN 1015-9	= Valor declarado		
Teor em cloretos (%)	EN 1015-17	= Valor declarado (não pode exceder 0.1%) Apenas nas argamassas em que seja relevante para o fim em uso.		
Ar contido (%)	EN 1015-7	Intervalo de valores declarados Apenas nas argamassas em que seja relevante para o fim em uso.		
Tempo de correcção (min)	EN 1015-9	-	> Valor declarado	-

3.3.5. Argamassas de assentamento de alvenaria endurecidas

A tabela 7 identifica as propriedades das argamassas de assentamento endurecidas.

Tabela 7: Requisitos para as propriedades do produto endurecido e respectiva norma de ensaio

Propriedades	Normas de ensaio	Tipos de argamassa		
		Uso geral G	Camada fina T	Leve L
Resistência à compressão (classe)	EN 1015-11	M1 a Md (ver tabela 8) Para as argamassas de desempenho. A resistência à compressão terá que ser superior à classe declarada.		
Resistência ao cisalhamento (<i>bond strength</i>) (N/mm ²)	EN 1052-3	= Valor declarado Para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.		
	EN 998-2 Anexo C	Valor tabelado Para argamassas de desempenho a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos estruturais.		
Absorção de água (kg/(m ² .min ^{0.5}))	EN 1015-18	= Valor declarado Para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição directa (ex: paredes de tijolo face à vista).		
Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ)	EN 1745	Valor tabelado Para argamassas a serem utilizadas em exteriores com exposição directa (ex: paredes de tijolo face à vista).		
Massa volúmica (kg/m ³)	EN 1015-10	Intervalo declarado Apenas nas argamassas em que seja relevante para o fim em uso.		Intervalo declarado = 1300
Condutividade térmica (W/m.K)	EN 1745 Tabela A.12	Valor tabelado Para argamassas a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos térmicos.		
	EN 1745 Ponto 4.2.2	<Valor declarado Para argamassas a serem utilizadas em elementos sujeitos a requisitos térmicos, especialmente no caso das argamassas leves.		
Reacção ao fogo (classe)	NP EN 13501-1	Classe declarada: <ul style="list-style-type: none">Argamassas, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica inferior a 1%, podem ser classificados como classe A1, sem necessidade de efectuar qualquer teste.Argamassas, com % em massa ou em volume (a que for mais elevada) de matéria orgânica superior a 1%, devem ser classificados de acordo com NP EN 13501-1 e declarada a respectiva classe de reacção ao fogo.		
Durabilidade		Não há requisitos prescritos para a durabilidade, podem ser avaliados com base na legislação nacional (se existir).		

As resistências à compressão expressam-se em N/mm² e designam-se com a letra M, por exemplo, M5 refere-se a uma argamassa de assentamento de alvenaria, cuja resistência à compressão, a 28 dias, é 5 N/mm².

As principais classes de argamassas recomendadas, de acordo com a norma EN 998-2, em função da sua resistência à compressão, a 28 dias, são as que figuram a tabela 8, onde se incluem a sua designação e respectivas classes.

Tabela 8: Classes de resistência à compressão

Classe	M 1	M 2.5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistência à compressão N/mm ²	1	2.5	5	10	15	20	d
d é a resistência à compressão, superior a 25 N/mm ² , declarada pelo fabricante							

No caso das argamassas de formulação o fabricante tem que declarar as proporções dos constituintes não sendo obrigado a declarar a classe de resistência.

3.3.6. Cimentos-cola

As propriedades dos cimentos-cola encontram-se divididas em termos de propriedades de aplicação e finais.

As propriedades de aplicação são referentes:

- *tempo de armazenamento*, período de tempo durante o qual uma cola, armazenada em condições definidas, conserva as suas propriedades de aplicação;
- *tempo de repouso*, período entre a preparação de uma cola e o momento em que esta deve ser aplicada;
- *tempo de vida*, máximo período de tempo após preparação de uma cola, durante o qual ela é utilizável;
- *tempo aberto*, máximo período de tempo para a fixação dos ladrilhos desde o momento de aplicação de uma cola, permitindo cumprir a aderência especificada;
- *poder molhante*, aptidão de uma camada de cola penteada para molhar os ladrilhos;

- *deslizamento*, deslocação, sobre uma superfície vertical inclinada, de um ladrilho aplicado sobre uma camada de cola penteada;
- *tempo de ajustabilidade*, máximo período de tempo durante o qual a posição de um ladrilho na camada de cola pode ser corrigida após colocação, sem perda significativa da aderência final [22].

As propriedades finais referidas para estes produtos são:

- *aderência*, força máxima de ruptura por unidade de superfície, que pode ser medida com aplicação de uma força de tracção ou de corte.
- *deformabilidade*, capacidade apresentada por uma cola endurecida para ser deformada por tensões entre o ladrilho e a superfície de suporte, sem ruptura da aderência.
- *deformação transversal*, deflexão registada no centro de uma camada de cola endurecida submetida a uma carga aplicada em três pontos. Pode ser utilizada para avaliar a deformabilidade de uma cola [22].

As colas para ladrilhos são definidas em três tipos [22], Tabela 9.

Tabela 9: Tipos de colas

C	Cimento-cola
D	Adesivo em dispersão
R	Colas reactivas

No desenvolvimento deste trabalho apenas os cimentos-cola serão alvos de análise.

Os cimentos-cola devem cumprir as características apresentadas na tabela 10, relacionadas com as características fundamentais, opcionais e adicionais, bem como as respectivas normas de ensaio.

Tabela 10: Especificações para cimentos-cola

Tabela 101 - Especificações para cimentos-cola			
Características Fundamentais			
1 a	<i>Cimentos-cola de presa normal</i>		
Característica		Requisito	Norma de ensaio
Aderência inicial à tracção		= 0.5 N/mm ²	EN 1348
Aderência à tracção após imersão em água		= 0.5 N/mm ²	EN 1348
Aderência à tracção após acção do calor		= 0.5 N/mm ²	EN 1348
Aderência à tracção após ciclos de gelo-degelo		= 0.5 N/mm ²	EN 1348
Tempo aberto: aderência à tracção		= 0.5 N/mm ² após 20 min.	EN 1346
1 b	<i>Cimentos-cola de presa rápida</i>		
Característica		Requisito	Norma de ensaio
Aderência inicial à tracção		= 0.5 N/mm ² até 24 h	EN 1348
Tempo aberto: aderência à tracção		= 0.5 N/mm ² após 10 min	EN 1346
Todos os outros requisitos do quadro 1 a			EN 1348
Características Opcionais			
1 c	<i>Características especiais</i>		
Característica		Requisito	Norma de ensaio
Deslizamento vertical		= 0.5 mm	EN 1308
1 d	<i>Características adicionais</i>		
Característica		Requisito	Norma de ensaio
Elevada aderência inicial à tracção		= 1 N/mm ²	EN 1348
Elevada aderência à tracção após imersão em água		= 1 N/mm ²	EN 1348
Elevada aderência à tracção após acção do calor		= 1 N/mm ²	EN 1348
Elevada aderência à tracção após ciclos de gelo-degelo		= 1 N/mm ²	EN 1348
1 e	<i>Características adicionais</i>		
Característica		Requisito	Norma de ensaio
Tempo aberto alongado: aderência à tracção		= 0.5 N/mm ² após 30 min.	EN 1346

A designação do cimento-cola é constituída pelo símbolo C, seguido da abreviatura da classe ou classe a que pertence a cola. A tabela seguinte apresenta a designação dos cimentos-cola.

Tabela 11: Designação e classificação

Símbolo		Descrição
Tipo	Classe	
C	1	Cimentos-cola de presa normal
C	1 F	Cimentos-cola de presa rápida
C	1 T	Cimentos-cola de presa normal com deslizamento reduzido
C	1 F T	Cimentos-cola de presa rápida com deslizamento reduzido
C	2	Cimentos-cola melhorados com características adicionais
C	2 E	Cimentos-cola melhorados com característica adicional tempo aberto alongado
C	2 F	Cimentos-cola de presa rápida melhorados com características adicionais
C	2 T	Cimentos-cola melhorados com características adicionais e deslizamento reduzido
C	2 T E	Cimentos-cola melhorados com características adicionais e tempo aberto alongado
C	2 F T	Cimentos-cola de presa rápida melhorados com características adicionais e deslizamento reduzido.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

- 4.1. Agregados
- 4.2. Ligantes
- 4.3. Adjuvantes e aditivos
- 4.4. Água de amassadura

4. Caracterização dos constituintes das argamassas

4.1 Agregados

Agregado é o material particulado, incoesivo, de actividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo uma extensa gama de tamanhos [25]. O termo “agregado” é de uso generalizado no sector das argamassas.

Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente [10,25].

Segundo a origem

- Naturais - os que já se encontram com a sua forma na natureza: areia e cascalho.
- Industrializadas - os que têm composição “particulada” obtida por processos industriais. Nestes casos, a matéria-prima pode ser: rocha, escória de alto-forno, entre outras.
- Recicladas - os que resultam do processamento de material inorgânico anteriormente usado na construção.

Segundo as dimensões das partículas

- Fino: as areias, naturais ou britadas, com partículas de menores dimensões que passa no peneiro de 4 mm.
- Grosso: o godo, de origem sedimentar; o rolado, calhau ou seixo e as britas (não sendo as últimas utilizadas nas argamassas).

Segundo a massa volúmica

Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios/normal e pesados.

Os agregados são geralmente o componente maioritário das argamassas, e por isso qualquer variação na sua qualidade tem um efeito considerável nas propriedades finais do material. A natureza inerente aos agregados, como a baixa inércia química, o baixo

coeficiente de expansão térmica e durabilidade são importantes, mas a forma e a dimensão das partículas têm uma influência essencial. Outro aspecto importante é a percentagem e tipo de contaminantes presentes, que por sua vez dependem do local de extracção [26].

Quanto à composição, normalmente a areia e o cascalho são constituídos predominantemente por quartzo que, sendo um mineral frequente na maioria das rochas granulares, pela sua dureza, durabilidade e insolubilidade é um componente desejável nos agregados finos. Associados ao quartzo encontram-se outros minerais e componentes não minerais em menor percentagem, como calcite, micas, feldspatos, minerais argilosos e matéria orgânica que podem diminuir a qualidade do agregado. No entanto, é também frequente encontrar areias calcárias como agregados em argamassas ou, então, misturas de areias siliciosas e calcárias [27].

Os agregados naturais são geralmente constituídos por partículas arredondadas e lisas, enquanto que os agregados gerados pela moagem de rochas são angulosos, o que produz argamassas com melhor empacotamento entre partículas, logo com menor porosidade e maior resistência mecânica. A capacidade de retenção de água e consequentemente, a trabalhabilidade são igualmente favorecidas [7,28]. Estas características são melhoradas se a distribuição dos tamanhos de partículas for alargada (Figura 4) [17,18,27,29].

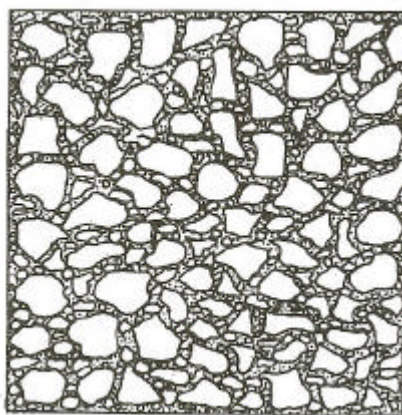


Figura 4: Esquema de uma distribuição de tamanhos alargada

Outra definição refere a areia natural como o agregado fino resultante da desintegração ou da abrasão de rochas sedimentares, ígneas ou metamórficas, devendo passar

inteiramente no crivo de 4,76 mm [27]. Vários estudos mostram que os agregados utilizados em argamassas de construção civil apresentam maioritariamente partículas entre os 0,150 e 1,250 mm [14,15,30]. O cascalho natural, por sua vez, é definido como o agregado grosseiro resultante da desintegração ou abrasão do mesmo tipo de rochas, devendo ser retido quase inteiramente no peneiro de 4,76 mm [27]. Este tipo de agregado é, no entanto, encontrado em argamassas em percentagens muito baixas, pois a partir do momento em que se tenha agregados com dimensões superiores a 4,76 mm passa-se a ter betões em vez de argamassas.

Para se obter uma boa argamassa é indispensável que todos os grãos do agregado estejam envolvidos pela pasta de cimento. Para uma boa interface cimento/agregados são indispensáveis as seguintes condições:

- a) os grãos sejam hidrófilos
- b) os grãos sejam molhados quer pela água quer directamente pela pasta de cimento (permite relações de aderência entre os grãos de cimento e os grãos de agregado, sendo necessário uma certa quantidade de água para além da necessária à hidratação do cimento, o que leva à consideração da dosagem de água em função da superfície específica do inerte).
- c) Aderência do ligante às areias torna indispensável que se tome em atenção as propriedades destas últimas, porquanto a interposição de películas de colóides (argila) ou mesmo a alteração superficial dos grãos de certos agregados, impedem o contacto real dos grãos inertes com os elementos activos.
- d) O envolvimento dos grãos das areias pela pasta de cimento é mais difícil de fazer à medida que aumenta a forma dos grãos dos inertes e embora se pudesse compensar tal dificuldade à custa de uma amassadura mais cuidada, raras vezes é suficiente para se obter uma dispersão regular e homogénea dos grãos mais finos na pasta do cimento [10].

Assim, como agregados para a fabricação de argamassas podem ser utilizados: agregados existentes em areeiros naturais, rochas britadas ou ainda, escórias siderúrgicas apropriadas. Em qualquer caso, o fornecedor de agregados deverá garantir documentalmente o cumprimento das especificações necessárias de acordo com as exigências do fim em uso ou da origem do agregado [24].

Quando não se têm antecedentes sobre a natureza dos agregados disponíveis deverão ser realizados ensaios de identificação mediante análises mineralógicas, petrográficas, físicas ou químicas, de acordo com cada caso.

A natureza dos agregados e a sua preparação devem permitir garantir a resistência adequada e durabilidade à argamassa, assim como as restantes características que se exigem a cada caso.

Se o agregado possui marcação CE, pode-se então excluir a realização de ensaios, pois nestes casos o fornecedor de agregados deverá disponibilizar um boletim de análises mensal.

A EN 13139:2005 [31], especifica as propriedades dos agregados e das cargas (*fillers*) com aplicação nas seguintes argamassas:

- Argamassas para alvenaria
- Argamassas para revestimento de pavimentos
- Argamassas para revestimento de paredes interiores
- Argamassas para revestimento de paredes exteriores
- Argamassas para fundação
- Argamassas para reparação
- Injecções.

As propriedades exigíveis aos agregados para argamassas dividem-se em 3 grupos de requisitos. São estes, requisitos geométricos, físicos e químicos.

4.1.1. Requisitos geométricos

Os requisitos geométricos especificados para os agregados devem variar de acordo com a aplicação específica ou origem do agregado. São requisitos geométricos as dimensões do agregado, a granulometria, a forma das partículas e o teor de finos.

Dimensão do agregado

As dimensões dos agregados devem ser especificadas utilizando as aberturas dos peneiros, sendo d correspondente à abertura do peneiro inferior e D correspondente à abertura do peneiro superior, entre as quais se situa a maioria das partículas.

De acordo com a norma EN 993-2, relativa à determinação da granulometria das partículas dos agregados, estabelece como série principal de peneiros os seguintes: (0,063-0,125-0,250-0,500-1-2-4 e 8) mm.

No caso dos agregados para as argamassas, os tamanhos que se utilizam preferencialmente (d/D) são os seguintes: (0/1 – 0/2 – 0/4 – 0/8 – 2/4 – e 2/8) mm.

Granulometria

A granulometria dos agregados deve satisfazer os requisitos a seguir apresentados em função da razão d/D , em mm. Os agregados devem cumprir os limites superiores e inferiores, que se apresentam na tabela 12, excepto quando se especificarem outros limites para agregados com utilização especial.

Tabela 12: Limites de sobretamanhos e de subtamanhos

Dimensão dos agregados (mm)	Limite em percentagem de passados, em massa				
	Sobretamanho			Subtamanho	
	2 D ^a	1,4 D ^b	D ^c	d	0,5d ^b
0/1	100	95 – 100	85 – 99	-	-
0/2	100	95 – 100	85 – 99	-	-
0/4	100	95 – 100	85 – 99	-	-
0/8	100	98 – 100	90 – 99	-	-
2/4	100	95 – 100	85 – 99	0 – 20	0 – 5
2/8	100	98 – 100	85 – 99	0 – 20	0 – 5

^a Quando seja essencial para utilizações especiais, a abertura do peneiro correspondente a 100% de passados pode ser inferior ao valor 2 D. Para a argamassa utilizada em camada fina (0/1 mm), no peneiro de abertura D devem passar 100% das partículas.

^b Quando as aberturas dos peneiros calculados como 0,5 d e 1,4 D não corresponderem a números exactos das dimensões exacta das malhas das séries de peneiros R20 da ISO 565:1990, deve ser adoptado o peneiro com a abertura mais próxima.

^c Se a percentagem de passados em D for superior a 99% em massa, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica incluindo os peneiros identificados no tabela 13.

Tabela 13: Tolerâncias de granulometria típica para agregados de utilização corrente

Abertura do peneiro (mm)	Tolerância máxima em percentagem de passados, em massa ^{a,b}			
	Dimensão do agregado, mm			
	0/8	0/4	0/2	0/1
8	± 5	-	-	-
4	-	± 5	-	-
2	± 10	-	± 5	-
1	± 10	± 20	± 20	± 5
0,250	± 10	± 20	± 25	± 25
0,063	± 2	± 3	± 5	± 5

^a Não obstante as tolerâncias acima, os agregados devem satisfazer os requisitos apresentados na tabela 12 na tabela 15.

^b Para utilizações especiais, o produtor e o comprador podem concordar com as tolerâncias de granulometria reduzidas.

Relativamente às granulometrias típicas e tolerâncias, o produtor deve documentar e declarar a granulometria típica para cada dimensão do agregado fino produzido. Pelo menos 90% dos últimos 20 resultados de granulometrias devem situar-se dentro das tolerâncias apropriadas definidas na tabela 13 relativamente à granulometria típica declarada do produtor.

À semelhança do descrito, o teor de finos não deve ultrapassar os limites indicados na tabela 15 para a categoria seleccionada. Os limites para o teor das cargas (*fillers*) devem cumprir os requisitos indicados na tabela 14.

Tabela 14: Requisitos da granulometria dos fillers

Abertura do peneiro (mm)	Percentagem de passados, em massa	
	Limites gerais para resultados individuais	Máxima margem da granulometria declarada do produtor para 90% dos resultados
2	100	-
0,125	85 – 100	10
0,063	70 - 100	10

Tabela 15: Limites para o teor de finos

Dimensão dos agregados (mm)	Percentagem máxima de passados no peneiro de 0,063 mm, em massa				
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
0/1 ^a	3	5	8	30	>30 ^a
0/2	3	5	8	30	-
0/4; 2/4 ^b	3	5	8	30	-
0/8; 2/8 ^b	3	5	8	11	-
Utilizações para as diferentes categorias	Arg. para pavimentos, arg. projectadas; arg. reparação, injeções (todos agregados)	Argamassas para reboco e estuque (todos agregados)	Argamassas para alvenaria (todos agregados, excepto britados)	Argamassas para alvenaria (agregados britados)	

^a Valor a declarar pelo produtor.

^b As dimensões 2/4 e 2/8 são usadas apenas em argamassa combinadas com as dimensões 0/1, 0/2, 0/4, 0/8. As combinações das diferentes dimensões devem respeitar os limites para o teor de finos à dimensão combinada apropriada.

4.1.2. Requisitos físicos e químicos

Os requisitos físicos e químicos especificados para os agregados devem variar de acordo com a aplicação específica ou origem do agregado. São requisitos físicos: a massa volumica das partículas; a absorção de água, determinadas de acordo com NP EN 1097-6:2003; e a resistência ao gelo-degelo, de acordo com a NP EN 1367-1:2003 para agregados superiores a 4 mm ou determinada de acordo com a NP EN 1367-2:2002 a partir de fracções de 10 mm a 14 mm da mesma origem.

Relativamente aos requisitos químicos são considerados: os cloretos, o teor de iões cloro solúveis em água dos agregados e cargas devem ser determinados de acordo com a EN 1744-1:1998, secção 7; compostos contendo enxofre, o teor de sulfatos solúveis em ácido dos agregados e dos fillers para argamassas, determinado de acordo com a EN 1744-1:1998, secção 12, devendo ser declarado pela correspondente categoria especificada no 7.3.1 da norma NP EN 13139:2005 [31]; constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência mecânica da argamassa; matéria solúvel e perda ao fogo (agregados de origem industrial) e avaliação da reactividade alcali-silica (avaliação do efeito nas argamassas anexo D da NP EN 13139:2005 [31]).

4.1.3. Fornecimento e armazenamento

Antes do fornecimento, o industrial de argamassas poderá exigir ao fornecedor uma amostra que garanta que os agregados a fornecer cumprem os requisitos estabelecidos anteriormente.

O fornecedor do agregado deverá realizar os ensaios e deverá entregar os boletins correspondentes aos ensaios realizados no seu laboratório ou num laboratório externo acreditado.

Os agregados devem-se armazenar protegidos de possíveis contaminações e devidamente separados, garantindo assim que as distintas fracções granulométricas não se misturam. Devem-se, também, adoptar as precauções necessárias para eliminar a segregação, tanto durante o armazenamento como no transporte.

4.2 Ligantes

Os ligantes inorgânicos são materiais, finamente moídos que, quando misturados com a água, formam uma pasta que ganha presa e endurece em virtude das reacções de hidratação, promovendo assim a união dos grãos dos agregados. Estes materiais funcionam como elementos activos nas argamassas, sofrendo transformações químicas, destacando-se como ligantes principais: o cimento (utilizado em argamassas de revestimento e assentamento), a cal (utilizada em argamassas de revestimento) e o gesso (utilizada em argamassas de revestimento e decoração, etc.).

A classificação das argamassas em grupos e subgrupos pelo tipo de ligante reúne o consenso da maioria dos autores [3,14,15,17] e é a mais utilizada nas áreas relacionadas. As argamassas são constituídas por ligantes de cal, gesso ou cimento e dependendo da sua composição as propriedades podem variar consideravelmente. Dentro do grupo da cal considera-se dois subgrupos – cal aérea e a cal hidráulica. E neste, consideram-se ainda vários tipos de hidraulicidade.

Os ligantes inorgânicos podem ser utilizados de forma unitária ou serem combinados, sempre que são compatíveis entre eles e de forma a poder aproveitar as propriedades mais interessantes de cada constituinte.

4.2.1 Ligantes de cimento

O cimento é, sem dúvida, o ligante mais utilizado nas formulações de argamassas. Trata-se de um ligante hidráulico, isto é, ganha presa e endurece por via de reacção de hidratação, tanto no ar como debaixo da água. Para além disso, está-lhe associado outra característica, o seu poder aglomerante, que se manifesta quando misturado com agregados, tornando possível o fabrico de argamassas e betões.

Os cimentos comuns (CEM) encontram-se normalizados na norma EN 197-1 [32], enquanto que os cimentos brancos (BR) segundo a norma NP 4326 [33].

Na fabricação das argamassas podem-se utilizar qualquer dos cimentos anteriormente referidos, no entanto, a selecção e dosificação dos cimentos deverá ser realizada em função da aplicação da argamassa.

Fornecimento e armazenamento

É da responsabilidade do fabricante de argamassas realizar ensaios específicos a cada fornecimento de cimento, excepto quando o cimento já possui marcação CE (certificado de qualidade oficialmente reconhecido); neste caso bastará dispor da documentação (boletim de ensaio, por exemplo) que a fábrica produtora de cimento deverá fornecer.

Esta documentação deve ser mensal, de acordo com o consumo periódico de cimento, contento as características físicas, mecânicas e químicas de cada tipo e classe de cimento utilizado.

O fornecimento realiza-se tipicamente, a granel e o armazenamento é feito em silos isentos de humidade. Recomenda-se que o armazenamento não seja muito prolongado, já que este pode ser alterado por meteorização. O armazenamento máximo aconselhável é de três meses, dois meses e um mês, respectivamente, para as classes de resistência 32,5, 42,5 e 52,5.

4.2.2 Ligantes de cal

De acordo com a Norma NP EN 459-1:2002 [34], podemos definir cal como “material abrangendo quaisquer formas físicas e químicas, sob as quais pode aparecer o óxido de cálcio e ou de magnésio (CaO e MgO) e ou hidróxidos (Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2)”.

Existem diferentes tipos de cais, de acordo com a referida norma, das quais se destacam:

Cais aéreas – cais constituídas principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio as quais endurecem lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono atmosférico. Geralmente não fazem presa dentro de água, visto não terem propriedades hidráulicas. Podem ser cais vivas ou cais hidratadas.

Cais Vivas (Q)– cais aéreas constituídas principalmente por óxido de cálcio e por óxido de magnésio produzidas por calcinação de rocha calcária e ou de dolomite. Têm uma reacção exotérmica quando em contacto com água. Apresentam-se em diversos tamanhos, desde pedaços a materiais finamente pulverizados. As cais vivas incluem as cais cálcicas e as cais dolomíticas.

Cais hidratadas (S)– cais aéreas, cais cálcicas ou dolomíticas, resultantes da extinção das cais vivas. São produzidas sob a forma de pó seco, de pasta, ou de calda (leite de cal).

A principal vantagem da introdução combinada de cal hidratada numa argamassa é a obtenção de melhor trabalhabilidade, pois confere facilidade de manuseamento e aplicação das argamassas e um melhor poder de sustentação dos agregados, diminuindo a segregação.

As melhores argamassas de cal aérea são obtidas se existir um período de maturação em água (cobertas de água para evitar a carbonatação) antes da aplicação da argamassa [26,35]. Este facto deve-se ao incremento da homogeneidade e trabalhabilidade do material, que por sua vez está relacionado com a coerência do arranjo entre as partículas quando estas estão em água. Todas as argamassas beneficiam se houver um bom processo de mistura entre os componentes mas a trabalhabilidade da argamassa depende, em primeiro lugar, da capacidade das partículas poderem deslizar umas sobre

as outras e sobre as superfícies adjacentes sem interferências mútuas. Além disso, este processo assegura que a hidratação da cal seja completa, o que vai aumentar a resistência da argamassa. Estas argamassas também apresentam alguns inconvenientes, como, por exemplo, tempos de presa e endurecimento lentos, o que no entanto favorece a sua aplicação principalmente em climas de elevada humidade, outros inconvenientes são a contracção volumétrica durante a presa que pode gerar tensões críticas e fractura, especialmente em grandes volumes, os menores valores de resistência mecânica, baixa coesão interna e elevada porosidade, tornando-a susceptível à cristalização de sais e à degradação devida ao gelo-degelo [26].

Cais hidráulicas naturais (NHL) – cais produzidas por calcinação de calcários mais ou menos argilosos com redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Todas as NHL têm a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água, devido à sua componente hidráulica. O dióxido de carbono atmosférico também contribui para o processo de endurecimento, tal como no caso das cais aéreas.

Enquanto as cais aéreas são classificadas de acordo com o seu teor de $(\text{CaO} + \text{MgO})$, as cais hidráulicas são classificadas de acordo com a sua resistência à compressão, como indicada na Tabela 16.

Tabela 16: Tipos de cal de construção

Designação	Notação
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal cálcica 70	CL 70
Cal dolomítica 85	DL 85
Cal dolomítica 80	DL 80
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica 5	NHL 5
Em complemento, as cais aéreas são classificadas, de acordo com as suas condições de fornecimento, em cal viva (Q) ou cal hidratada (S). No caso particular de cais dolomíticas hidratadas, o grau de hidratação é identificado por S1: semi-hidratada, ou por S2: totalmente hidratada.	

Esta classificação faz, assim referência aos requisitos mínimos para cada tipo de cal. Por exemplo, a cal cálcica 90 apresenta um teor de $(\text{CaO} + \text{MgO}) = 90$, já a cal hidráulica e

cal hidráulica natural classificam-se de acordo com as resistências mínimas de compressão aos 28 dias (tabela 17).

Tabela 17: Resistência à compressão de cal hidráulica e da cal hidráulica natural

Tipo de cal de construção	Resistência à compressão MPa	
	7 dias	28 dias
HL 2 e NHL 2	-	= 2 a =7
HL 3,5 e NHL 3,5	-	= 3,5 a =10
HL 5 e NHL 5	=2	= 5 a =15
HL 5 e NHL 5, com uma massa volúmica aparente inferior a 0,90 kg/dm ³ , podem ter uma resistência até 20 MPa.		

A hidraulicidade é a característica que divide as argamassas de cal. As argamassas de cal aérea são geralmente consideradas não hidráulicas, embora possam apresentar carácter hidráulico se tiverem sido adicionadas algumas substâncias pozolânicas, ou quando a quantidade de argilas ou silicatos na rocha de origem exceder 10% em massa, como em algumas rochas calcárias, mármore (rocha calcária metamorfizada) ou conchas de molusco [36,37].

Por sua vez, a cal hidráulica proporciona às argamassas uma boa trabalhabilidade, um aumento da resistência mecânica, boa aderência às superfícies, um bom acabamento, maior rentabilidade de mão-de-obra, melhorando consideravelmente a qualidade da construção civil.

Dadas estas características, as argamassas à base de cal assumem um papel importante ao nível da reabilitação de edifícios antigos.

Fornecimento e armazenamento

À semelhança do cimento, é da responsabilidade do fabricante de argamassas realizar ensaios específicos a cada recebimento destes ligantes, excepto quando já possui marcação CE (certificado de qualidade oficialmente reconhecido); neste caso bastará dispor da documentação (boletim de ensaio, por exemplo) que a fábrica produtora de cal deverá fornecer quando solicitado.

O fornecimento pode-se realizar a granel ou em saco e o armazenamento é feito em zona isentos de humidade.

Recomenda-se que o armazenamento não seja muito prolongado, já que este pode ser alterado por meteorização.

4.2.3 Ligantes de gesso

O gesso é usado em argamassas desde há muito tempo devido à facilidade de produção e moldagem, bem como à sua capacidade de endurecer rapidamente, que está relacionada com a acção de presa da água de cristalização. O gesso é constituído por sulfato de cálcio, CaSO_4 , que ocorre na natureza na forma hidratada. Cada molécula de sulfato de cálcio suporta duas moléculas de água como parte da sua estrutura cristalina ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A temperaturas relativamente baixas ($120 - 150^\circ\text{C}$) a água é parcialmente evaporada, ficando apenas uma molécula de H_2O ligada a duas moléculas de CaSO_4 . Este hemi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) existe como um pó branco, conhecido como *Plaster of Paris*, que com a adição de água recristaliza, expandindo ligeiramente e formando o hidrato original e um sólido rígido. Enquanto este processo ocorre, e à mesma velocidade, dá-se uma presa muito rápida que proporciona uma adesão rígida á estrutura pouco minutos após a colocação da argamassa [17,26].

Se o gesso for calcinado a temperaturas mais elevadas, acima de 350°C , a água é totalmente evaporada, formando-se um composto chamado anidrite, CaSO_4 . A transformação novamente para gesso por hidratação da anidrite é um processo que não tem lugar caso não exista um composto catalizador que crie uma atmosfera reactiva. Este composto pode ser o óxido de cálcio (CaO) formado durante a calcinação, que quando hidratado forma hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), uma base que acelera a formação de gesso. A velocidade de presa e a sua durabilidade dependem, neste caso, do conteúdo de óxido de cálcio livre produzido no processo de calcinação. Este por sua vez vai depender do tempo e temperatura de calcinação [26,38].

A qualidade de presa rápida do gesso, juntamente com a facilidade na sua obtenção e as baixas temperaturas de produção, foi determinante para o uso do gesso como constituinte preferencial de argamassas durante muitos anos, apesar das suas duas grandes desvantagens – baixa resistência e solubilidade nas águas pluviais. A sua utilização está, portanto, vocacionada para climas secos ou para o interior de edifícios. O gesso apresenta ainda a vantagem de se expandir ligeiramente durante a presa, o que evita problemas relacionados com a contracção.

Uma forma bastante utilizada, para minorar algumas das desvantagens referidas é usar misturas de gesso e cal. O gesso é também utilizado para a produção de cimentos, de forma a retardar a presa rápida destes materiais. O aparecimento de outros tipos de ligantes, mais resistentes e de maior durabilidade, contribuiu para diminuir o uso de gesso e hoje, é raro encontrá-lo como componente único num ligante de argamassa [26].

Fornecimento e Armazenamento

À semelhança dos outros ligantes é da responsabilidade do fabricante de argamassas realizar ensaios específicos a cada recebimento destes ligantes, excepto se enviados pelo fornecedor.

O fornecimento realiza-se a granel e o armazenamento é feito em zona isentos de humidade.

4.3 Adjuvantes e adições

Já foi referido anteriormente, que o crescente desenvolvimento da construção civil tem sido responsável pelo avanço tecnológico na produção das argamassas. Alguns dos novos constituintes destes produtos, os adjuvantes e os aditivos, estão a ser cada vez mais utilizados com o objectivo de modificar as propriedades das argamassas, ajustando-os a determinadas condições de uso e desempenho pré-estabelecidas. Estas condições, muitas vezes impostas pelo mercado, podem ser obtidas com o uso de produtos, que permitam alcançar os seguintes efeitos:

- melhorar a trabalhabilidade;
- acelerar a presa;
- retardar a presa;
- acelerar o endurecimento nas primeiras idades;
- aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo;
- diminuir a permeabilidade aos líquidos;
- impedir a segregação e a sedimentação dos seus constituintes;
- criar uma ligeira expansão na argamassa;
- produzir argamassas leves;
- produzir argamassas coloridas.
- etc..

4.3.1 Adjuvantes

Existem diferentes definições para adjuvantes e aditivos, mas segundo A. Coutinho [10], designa-se por adjuvante a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa do cimento, adicionada durante a amassadura aos componentes normais das argamassas e betões, com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado sólido, quer ainda no momento da passagem dum estado a outro. Esta definição não engloba as substâncias minerais moídas como pozolanas, escórias, etc., que são adicionadas em proporções muito maiores do que 5%. Acrescenta ainda que, deve-se chamar aditivo a toda a substância que se adiciona, numa argamassa ou betão, em quantidade superior a 5% da massa do cimento, ou quando adicionada em quantidade inferior a esta, não tenha qualquer acção quer no estado fluído, quer no sólido, ou ainda na passagem do estado líquido ao estado sólido.

De acordo com o Dicionário Técnico (EMOdic) [13], versão Portuguesa, editado pela EMO – European Mortar Industry Organization baseado nas normas EN 13318 [39]; EN 998-2 [20], “**adjuvante** é todo o material orgânico ou inorgânico adicionado em pequenas quantidades com o objectivo de modificar as propriedades da argamassa fresca ou endurecida.”

Esta última será a definição de referência, apesar, da terminologia vulgarizada no sector não diferenciar adjuvantes de aditivos, denominando ambos por aditivos. Talvez esta terminologia, tenha surgido no antigo Regulamento do Betão que chamava aditivos em vez de adjuvantes aos aceleradores e retardadores de presa, bem como, aos plastificantes. Ou ainda, pela adopção de outras terminologias estrangeiras que, com alguma lógica, denominam aditivos e adições, respectivamente aos adjuvantes e aditivos.

Os adjuvantes de argamassas e betões foram classificados, segundo diversos critérios, por comissões especiais americanas, alemãs e francesas, e foram agrupadas por diversos autores, dos que se destaca M. VENUAT, 1961 [40].

Uma outra classificação, mais ampla, foi a adoptada pelo Grupo de Trabalho da RILEM (Reunião Internacional dos Laboratórios de Ensaios de Materiais) na conferência de Paris

em 1967, dedicada aos Adjuvantes para Argamassas e Betões. Segundo os critérios básicos adoptados pela RILEM os aditivos podem ser classificados em:

- Modificadores da reologia da massa fresca;
- Modificadores do tempo de presa;
- Impermeabilizantes e Hidrófugos;
- Expansivos.

4.3.1.1. Modificadores da reologia de massa fresca

Os adjuvantes modificadores da reologia da massa fresca são produtos que permitem alterar a consistência da massa. Estes podem ser classificados em:

- **Plastificantes/redutores de água** – são normalmente formulados à base de ácidos linhossulfanados ou hidrocarboxílicos. O seu princípio de funcionamento baseia-se na adsorção de catiões de alto peso molecular pelas partículas do ligante, que origina uma repulsão mútua entre partículas e, consequentemente, a dispersão das partículas do ligante na fase aquosa da argamassa, aumentando a sua superfície específica e facilitando a sua hidratação (Figura 5).

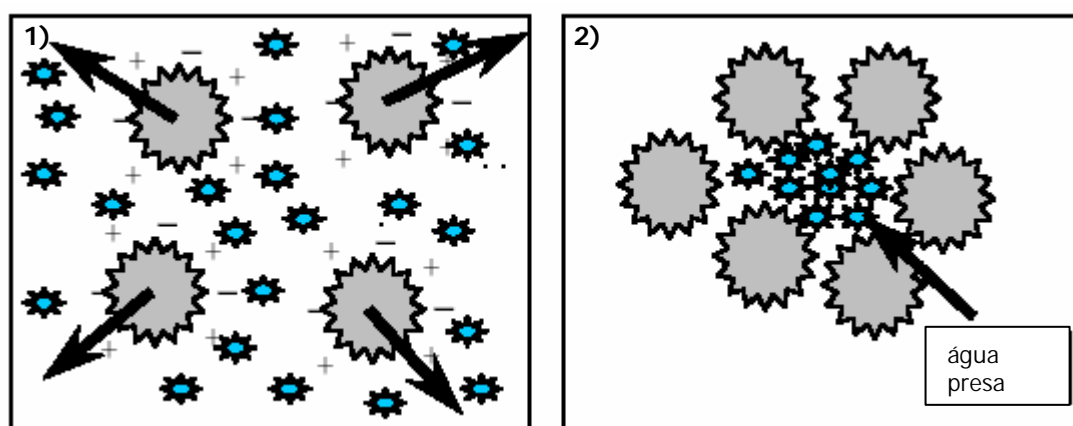


Figura 5: Acção dispersiva dos plastificantes:
1) partículas dispersadas por efeito do plastificante; 2) partículas floculadas.

Os efeitos sobre a reologia na argamassa fresca envolvem a diminuição da relação água/cimento, garantindo a mesma trabalhabilidade e a diminuição

da permeabilidade. Como efeitos secundários surgem o retardamento da presa e uma redução das resistências iniciais [7,41-43].

No domínio dos plastificantes são apresentados diversos tipos, podendo afectar em maior ou menor intensidade a rapidez da presa da argamassa, ou em maior ou menor proporção as suas propriedades mecânicas a curto prazo, permitindo, entretanto, a obtenção de aumentos consideráveis de resistência. Dentro destes, podem ser incluídos os redutores de água de alta efectividade ou também designados, por super-plastificantes. A sua acção é semelhante à descrita para os plastificantes ditos normais, mas de uma forma bastante mais pronunciada. São normalmente baseados em linhossulfanados modificados ou em folmaldeídos sulfanados ou de naftaleno [41,43].

- **Introdutores de Ar** – modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar.

Os introdutores de ar são formados por moléculas orgânicas que, em solução aquosa, se dissociam em iões complexos, cujo agrupamento polar é absorvido pelas superfícies das partículas finas do cimento e dos agregados.

O agrupamento polar, responsável pelo efeito tensioactivo, permite a formação, durante a mistura da argamassa, de pequenas bolhas de ar fechadas, de forma esférica e com diâmetros da ordem de 0,01 a 1 mm, que permanecem entre o cimento e as partículas finas do agregado. Estas bolhas, relativamente compressíveis, funcionam como um corte na capilaridade dos cimentos, melhorando a capacidade de impermeabilização e a resistência aos ciclos gelo-degelo.

Os introdutores de ar proporcionam um aumento considerável da trabalhabilidade e da homogeneidade; contribuem para a minimização da exsudação, o que permite reduzir o teor de água de mistura com vantagens para a resistência à fissuração. Reduzem a massa volúmica e o módulo de elasticidade, o que também contribui para melhorar a resistência à fissuração. Podem afectar negativamente a aderência.

Os efeitos dos introdutores de ar podem ser medidos através do aumento do espalhamento e da redução da densidade da massa. [7,41-44].

- **Plastificantes/introdutores de ar** – Existem adjuvantes químicos que combinam os dois efeitos.
Estes apresentam as vantagens dos dois tipos de adjuvantes, isto é, actuam como fluidificantes, diminuindo a viscosidade da pasta de cimento e permitindo a introdução de uma pequena quantidade de ar à mistura. Estes produtos permitem ainda, conseguir o aumento das resistências mecânicas em relação à mesma argamassa sem adjuvante. Desta forma, introduzem ar à massa, o que permite reduzir a tendência à segregação da argamassa em fresco e aumentam a durabilidade da argamassa endurecida (resistência ao gelo/degelo e aos sulfatos).
- **Retentores de água** – estes produtos são habitualmente ésteres de metilcelulose, regulam a perda de água de amassadura durante o processo de secagem, evitando que se produzam fissuras por retracção. Contribuem para obter uma boa aderência ao suporte e uma boa viscosidade da pasta.
A sua dosificação deve ser muito bem estudada, pois a sua falta origina rebocos muito secos e com pouca coesão e resistência mecânica por não ter água suficiente para a cristalização do cimento com o consequente risco de fissuração. Com o excesso obtemos argamassas que demorariam muito tempo a secar e com dificuldade de acabamento.
- **Promotores de aderência/coesivos** – são normalmente constituídos por resinas sintéticas. À temperatura de desidratação, estes materiais formam um sólido polimérico que, quando combinado com ligantes hidráulicos, aumentam a aderência da massa fresca a qualquer substrato, dificultando a segregação. Contribuem também para aumentarem a capacidade de impermeabilização. Estas propriedades fazem com que os promotores de aderência sejam principalmente usados em argamassas de reboco, embora também sejam usados com vantagem nas argamassas de alvenaria ou de pavimentos [7,45].

4.3.1.2. Modificadores de tempo de presa

São produtos que modificam o tempo de presa e o desenvolvimento da resistência da argamassa durante o seu envelhecimento. Podem ser classificados em:

- **Activadores de endurecimento** - produtos que aceleram o desenvolvimento da resistência da argamassa, reduzindo em pouca proporção a trabalhabilidade da argamassa fresca.

- **Aceleradores de presa** – produtos que aceleram a presa e, consequentemente, o desenvolvimento da resistência da argamassa. Esta característica é particularmente importante para obras de carácter urgente e para climas muito frios e húmidos, que dificultam a presa. São produtos que reduzem energicamente o tempo e trabalhabilidade da massa.

As desvantagens mais evidentes do uso deste tipo de produtos são a diminuição das resistências aos ciclos gelo-degelo. O emprego dos aceleradores não é muito aconselhado e deve-se dar preferência, sempre que possível, ao emprego de cimentos de alta resistência inicial e de aditivos fluidificantes [41, 43].

- **Retardadores de presa** - são produtos que estendem as reacções de hidratação durante um período mais longo que o habitual. Deste modo, o aumento de viscosidade da massa é mais lento e o tempo de trabalhabilidade da massa fresca é maior.

Estes produtos baseiam-se em linhossulfatos ou ácidos hidrocarboxílicos e funcionam reduzindo a solubilidade dos compostos de hidratação do ligante de uma argamassa, retardando a hidratação e, consequentemente a presa (Figura 6) [41, 43].

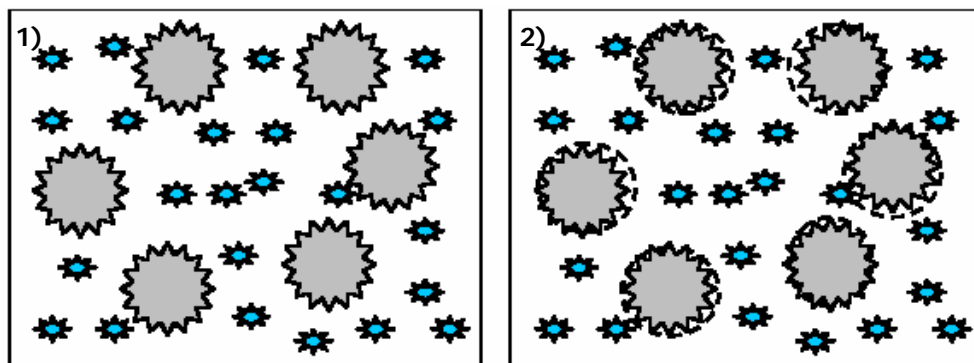


Figura 6: Retardador de presa:
1) partículas do ligante livres para reagir com a água; 2)
impermeabilização superficial temporária das partículas do ligante

4.3.1.3. Impermeabilizantes e hidrófugantes

Os impermeabilizantes e hidrófugantes são produtos que se destinam a impedir, pelo menos parcialmente, a penetração de água ou a sua circulação, por redução da tensão capilar no sistema poroso. Estes produtos, quando adicionados em pequenas quantidades às argamassas (não deve exceder 2% da massa do ligante), tendem a colmatar os capilares na pasta do cimento hidratado, reduzindo a capilaridade da argamassa, melhorando a sua capacidade de impermeabilização, reduzindo assim, possíveis eflorescências e uma degradação por acção de gelo-degelo, dado restringirem a circulação de água no sistema.

Os primeiros produtos utilizados foram materiais pulverulentos, à base de sílica, finamente divididos, que colmatavam os poros existentes nas argamassas. O segundo tipo de produtos utilizados foram materiais orgânicos, que actuam reagindo com cal livre do cimento hidratado, formando sais cálcicos insolúveis, com radicais fortemente hidrófugos, que têm como efeito tamponar os capilares existentes na pasta de cimento hidratado. A acção dos hidrofugantes é mais ou menos eficaz, segundo o tipo de molécula e da substância impermeabilizante [7,42,43].

4.3.1.4. Expansivos

Os adjuvantes expansivos são produtos que se contrapõem à retracção, produzindo uma ligeira expansão, sem afectar a posterior estabilidade argamassa endurecida.

Estes produtos têm como efeitos sobre a massa fresca:

- O aumento sensível da fluidez das argamassas; aumento da aderência e homogeneidade da massa; a diminuição da segregação da água e melhoramento da retenção da mesma no seio da massa;
- Permitem evitar a retracção característica de argamassas durante a presa, proporcionando uma expansão controlada da massa, bem como um aumento da plasticidade e uma diminuição na relação água/cimento. Os efeitos sobre a massa endurecida reflectem-se numa diminuição da densidade, em consequência dos vazios existentes na massa e na diminuição das resistências mecânicas [40].

Fornecimento e armazenamento

A fábrica de argamassas deverá dispor, a cada fornecimento de adjuvantes, a correspondente garantia documental, proporcionada pelo fornecedor de aditivos e informações relativas aos produtos recebidos onde se incluam os resultados dos ensaios efectuados.

Os adjuvantes devem ser transportados e armazenados de maneira a se evitem contaminações e que as suas propriedades não sejam afectadas por factores físico-químicos, nomeadamente, temperaturas altas ou baixas, entre outras.

4.3.2 Adições

As adições são materiais inorgânicos finamente divididos que podem ser adicionados à argamassa com o objectivo de obter ou melhorar propriedades específicas (EN 13318; EN 998-2).

As adições podem ser divididas em dois tipos:

- **Adições praticamente inertes:**
 - Cargas (*Fillers*) minerais
 - Pigmentos inorgânicos
- **Adições pozolânicos ou hidráulicos**
 - Materiais pozolânicos naturais
 - Cinzas Volantes (central térmica)
 - Sílica de Fumo
 - Escórias
 - etc.

Cargas Minerais

As cargas são materiais inorgânicos, naturais ou artificiais, especialmente seleccionados e que, tendo em conta a sua distribuição granulométrica, podem melhorar as propriedades das argamassas, tais como a trabalhabilidade ou a retenção da água. Podem ser inertes ou possuir propriedades ligeiramente hidráulicas ou pozolânicas. As cargas, vulgarmente, são definidas como agregados (ver cap. 4.1.) cuja fracção maior passa pelo peneiro de 63 μm (0,063 mm) [10].

Pigmentos Inorgânicos

Os pigmentos inorgânicos são pós de cor determinada, muito finos (por exemplo óxido de ferro), com a função de dotar a argamassa da cor desejada. Estes produtos são usados, tipicamente, em argamassas de revestimento com fim estético [7,10,42,43].

Materiais Pozolânicos

As pozolanas são produtos naturais ou artificiais constituídos essencialmente por sílica e alumina que, apesar de não terem por si só propriedades aglomerantes e hidráulicas, contêm constituintes que, em presença da água, hidróxido de cálcio e dos diferentes componentes do cimento, originam compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes.

As pozolanas podem ser naturais (rochas de origem vulcânica alteradas por meteorização), artificiais (argilas de qualquer tipo depois de sujeitas a temperaturas suficientes para a desidratação, mas inferiores ao início da fusão) ou ainda subprodutos industriais (cinzas volantes, sílica de fumo, por exemplo).

A adição das pozolanas nas argamassas permite substituir parte do cimento Portland, fazendo baixar o calor de hidratação sem que a tensão de rotura diminua [7,46,47].

- **Cinzas Volantes**

As cinzas volantes são os resíduos sólidos que se obtêm por precipitação electrostática ou por captação mecânica das poeiras que acompanham os gases de combustão dos queimadores das centrais termoeléctricas alimentadas por carbonos pulverizados.

As cinzas volantes não poderão conter substâncias prejudiciais em quantidades tais que possam afectar a durabilidade das argamassas nem causar fenómenos de corrosão.

São apresentadas na Tabela 18 algumas das características das cinzas volantes nacionais, bem como os parâmetros que estas deverão cumprir e as respectivas normas de ensaio. Os resultados dos ensaios efectuados deverão ser fornecidos pelo produtor, caso contrário, deverá o fabricante da argamassa realizá-los.

Tabela 18: Características principais das cinzas volantes produzidas em Portugal (Relatório de Ensaio da Central Termoeléctrica de Sines, 2004)

Características Principais	Requisitos	Valor (%)	Normas
Perda ao fogo	= 7,0%	4,9	NP EN 196-2
Sílica (SiO ₂)		51	NP EN 196-2
Alumina (Al ₂ O ₃)		25,5	
Óxido de ferro III, (Fe ₂ O ₃)		5,5	
Trióxido de enxofre (SO ₃)	= 3,0%	0,54	NP EN 196-2
Óxido de Cálcio livre (CaO)	= 1,0%	0,01	NP EN 451-1
Óxido de magnésio (MgO)		1,57	NP EN 196-2
Óxido de potássio (K ₂ O)		1,17	NP EN 196-21
Óxido de sódio (Na ₂ O)		0,41	NP EN 196-21
Cloretos		< 0,01	NP EN 196-21
Finura (d>45µm)		14,5	NP EN 451-2

De todas as adições, a mais utilizada na fabricação das argamassas industriais são as cinzas volantes. A sua utilização retarda o início de presa e ao contrário do que acontece com as outras pozolanas, faz aumentar a trabalhabilidade e a facilidade em projectar a argamassa.

- **Sílica de Fumo**

Sílica de fumo é um subproduto da preparação do silício ou de ligas de silício, em fornos eléctricos de arco, onde o quartzo é reduzido pelo carvão, a elevadas temperaturas [10].

- **Escória**

A escória é o material obtido pela combinação da ganga dos minérios dos metais com fundentes apropriados e cinzas do carvão utilizado. É deste modo, um subproduto de outras fabricações [10].

Para além destas adições, podem-se utilizar outras desde que não comprometam as propriedades exigidas pelas normas ou exerçam efeitos prejudiciais sobre os restantes constituintes da argamassa.

Fornecimento e armazenamento

O fabricante de argamassas deverá dispor da garantia documental (resultados dos ensaios efectuado e outras informações relevantes) de que o produto ou produtos a adicionar às argamassas cumprem as especificações sem afectar, de forma prejudicial, as suas propriedades. Esta garantia documental deverá ser fornecida pelo produtor e/ou fornecedor. Em caso contrário, cabe ao fabricante de argamassas a realização destes ensaios.

Para as adições fornecidas a granel deverão ser utilizados procedimentos idênticos aos utilizados para o cimento, devendo-se armazenar em silos que os protejam da humidade e de contaminações, os quais devem estar perfeitamente identificados para evitar possíveis erros.

4.4 Água de amassadura

A água utilizada para a amassadura das argamassas não deve conter substâncias perigosas em quantidades tais que afectem as propriedades das argamassas. Em geral, devem-se utilizar todas as águas potáveis de forma a não alterar os requisitos exigidos às argamassas.

Um dos aspectos mais importantes quando falamos de água da amassadura das argamassas industriais é, sem dúvida, a quantidade da água a adicionar ou adicionada à argamassa.

De acordo com a EN 1015-2 [48], a quantidade de água de amassadura é determinada através da relação entre a massa volúmica e o índice de consistência determinado pelo método da mesa de espalhamento (Tabela 19).

Tabela 19: Definição do valor de espalhamento de vários tipos de argamassas de acordo com a massa volúmica em estado fresco (EN1015-2: 1998)

Massa Volúmica da argamassa em estado fresco (kg/m^3)	Valor de espalhamento (mm)
> 1200	175 ± 10
> 600 a ≤ 1200	160 ± 10
> 300 a ≤ 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

A quantidade recomendada pelo fabricante é sempre a aconselhável e preferencial pois visa a obtenção da trabalhabilidade óptima para aplicação em obra sem comprometimento de outras propriedades importantes como, por exemplo, a resistência mecânica.

5. PROCESSO PRODUTIVO DAS ARGAMASSAS INDUSTRIAIS

- 5.1. Preparação de matérias-primas e ensilagem
- 5.2. Dosagem e mistura
- 5.3. Ensilagem, ensacagem e expedição
- 5.4. Controlo e automação
- 5.5. Controlo ambiental

5. Processo produtivo das argamassas industriais

O processo descrito neste capítulo é referente às argamassas secas, dado a sua representatividade no mercado das argamassas industriais e no desenvolvimento do presente trabalho.

O processo produtivo de argamassas secas, tipicamente, pode obedecer a um fluxograma constituído pelas seguintes etapas [49,50]:

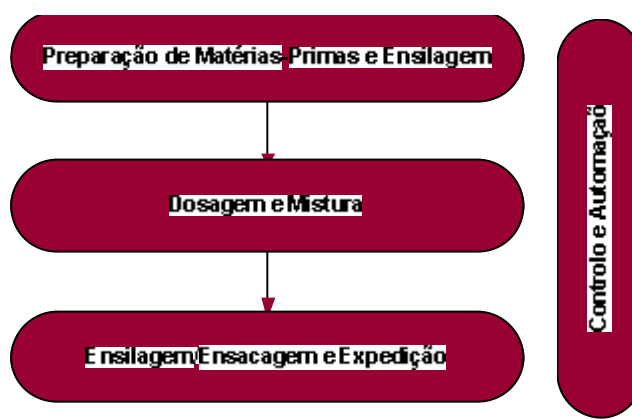


Figura 7: Fluxograma do processo produtivo de argamassas secas

5.1 Preparação de matérias-primas e ensilagem

Esta etapa pode ser constituída pelas seguintes operações:

5.1.1 Extracção e britagem de agregados

Os agregados são maioritariamente calcários e siliciosos. Os agregados siliciosos são explorados em areeiros e podem sofrer um processo de lavagem para remoção de matéria orgânica.

Os agregados calcários são extraídos das pedreiras por meio de explosivos, passando de seguida por uma britagem primária e podendo também recorrer a um processo de lavagem, no caso de haver contaminação de argilas.

5.1.2 Secagem, moagem, classificação e ensilagem de agregados

Nesta operação todo o agregado sai do tegão ou das tulhas de armazenagem, através de um alimentador vibratório e cai no transportador para ser submetido a um processo de secagem. A secagem pode ser realizada através de secadores rotativos ou de leito fluidizado. Os secadores rotativos utilizam a queima de combustível, de modo a produzir um fluxo de ar quente e um fluxo de agregados, ambos contínuos.

No caso do secador de leito fluidizado (Figuras 8 e 9), o fluxo do agregado é contínuo e o ar quente é insuflado de baixo para cima na primeira metade do fluxo do material; na segunda metade, o fluxo de ar é frio para que haja um arrefecimento ainda dentro do secador. Deste modo, o agregado sai da etapa de secagem com uma temperatura que pode variar entre 45°C e 60°C e com uma humidade entre 0 e 0.3%.



Figura 8: Secador de leito Fluidizado

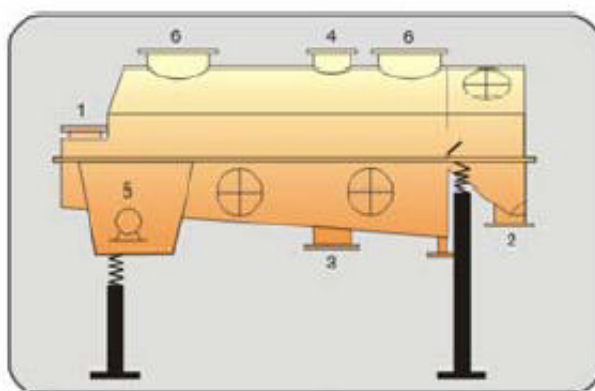


Figura 9: Esquema exemplificativo de um Secador de leito Fluidizado:

1. Entrada do agregado; 2. Saída do agregado; 3. Entrada de ar quente; 4. Saída de ar;
5. Motor Vibratório, 6. Entrada para manutenção

Normalmente, os agregados saem do secador por acção de movimento vibratório.

No caso dos agregados siliciosos, estes caem num transportador de tela horizontal, que os leva para um elevador e este transporta-os para o topo da torre. No topo da torre sofrem uma classificação, através de um processo de crivagem, que tem como finalidade remover todas as matérias orgânicas e minerais de maiores dimensões. Posteriormente, estes agregados são armazenados em silos.

No caso dos agregados calcários, estes podem ainda ser submetidos, após secagem, a uma operação de moagem em que o calcário seco cai por gravidade do silo para uma tela alimentando o moinho. Seguidamente, é transportado por elevador para a torre, de modo a se proceder à operação de crivagem (Figura 10). Cada crivo possui 3 ou 4 peneiros de malhas diferentes, que permitem obter as fracções finais desejadas; as malhas apresentam fisicamente aberturas de 3.0 mm, 1.2 mm, 0.6 mm e 0.3 mm.

À saída de cada peneiro são introduzidos directamente nos silos respectivos e classificados como fracção grossa, média (média grossa e/ou média fina) e fina.

Caso ainda exista agregado calcário com granulometria superior, este é segregado para posterior moagem ou separado para outros usos.



Figura 10: Classificador / Crivos dos silos

5.1.3 Recepção e ensilagem de outras matérias-primas

Para além dos agregados atrás referidos são recebidas outras matérias-primas, tais como ligantes, agregados (não tratados na instalação, ou seja adquiridos a fornecedores) e aditivos, que são introduzidos nos silos correspondentes. Estas matérias-primas são recebidas em camião cisterna, em sacos ou big-bags e a ensilagem pode ser efectuada directamente ou através de transporte pneumático.

5.2 Dosagem e mistura

O produto final é obtido a partir da mistura de diferentes constituintes, cuja dosagem de cada um obedece a uma formulação pré-estabelecida.

Iniciando aqui, o ciclo de produção, o doseamento das matérias-primas pode ser efectuado por diferentes sistemas, nomeadamente, o doseamento por gravidade através da fluidificação permanente do material, o doseamento por transportador helicoidal (sem-fim) com controlador de frequência e o doseamento volumétrico através de uma válvula rotativa.

A pesagem dos diferentes componentes é realizada dentro da tremonha das respectivas balanças.

Uma vez doseados e pesados, os componentes são descarregados no misturador vazio (Figura 11), através de válvulas pneumáticas, para homogeneização. O misturador dispõe de mecanismos que criam um fluxo uniformemente distribuído no volume interno do tambor. O eixo do rotor principal possui labirintos pressurizados que proporcionam total vedação. Os rotores laterais, de alta rotação, permitem obter um elevado grau de homogeneização.

O tempo de mistura varia em função da composição específica do produto. Findo este tempo, as portas do misturador abrem-se e o produto cai para a tremonha do misturador para ser então descarregado para vários destinos possíveis.

O sistema de limpeza funciona com jactos de ar comprimido, permitindo menor tempo de paragem em situação de mudança de produção.



Figura 11: Aspecto de um misturador

5.3 Ensilagem, ensacagem e expedição

O projecto de uma instalação considera também aspectos relevantes do transporte, com a finalidade de evitar a segregação da mistura ou que o meio de transporte modifique a sua granulometria, além de propiciar as condições para limpeza e mudança de produto nas diferentes etapas.

5.3.1 Ensilagem do produto acabado a granel

A descarga da tremonha do misturador pode ser efectuada directamente, através de uma manga, se o destino for o camião cisterna ou seguir para silo de produto se for granel.

5.3.2 Ensacagem, paletização e plastificação do produto acabado em saco

Existem diferentes tipos de sistemas de ensacagem, de acordo com a composição granulométrica da formulação, no entanto, para produtos com uma granulometria entre 0 e 8 mm, o sistema pneumático é considerado o mais indicado.

O sistema de corte ou interrupção do fluxo para obter o enchimento da embalagem depende basicamente do tamanho dos grãos e poderá ser do tipo tesoura, guilhotina ou válvula de manguito (Figura 12). Em caso de argamassas de granulometria mais fina, como a massa de juntas e cimentos cola, podem ser utilizadas ensacadoras de turbina.



Figura 12: Detalhe da forma do fluxo de ensacamento

A paletização é geralmente efectuada, por um paletizador automático, comandado por um software específico.

As paletes vazias são preparadas de modo a alimentar o paletizador. A estas é aplicado no topo superior um quadrado de filme plástico agrafado às tábuas e que se destina a impedir a humidade de se propagar por capilaridade através da madeira podendo, deste modo, atingir os sacos de produto.

As paletes de produto são plastificadas e pode ser realizada por uma envolvente automática programada, também por software específico. O modo com esta operação é efectuada impede totalmente a entrada de água. Concluída a plastificação as paletes são colocadas em armazém prontas para expedição.

5.4 Controlo e automação

A unidade de dosagem das argamassas é comandada por um sistema automatizado que controla todas as fases da produção por lógica de sequência de operação tendo em atenção as paragens eventuais dos equipamentos que possam ocorrer. Na memória

central desse sistema ficam as sequências do processo e as formulações das argamassas. Uma vez programado para produzir um determinado tipo, quantidade e destino (para silo a granel, para caminhão cisterna ou saco), o operador inicia o processo e a fábrica irá produzir a quantidade e o tipo solicitado até ao final da programação.

Caso ocorra alguma falta de matéria-prima no sistema de produção, a operação é interrompida e um alarme informa o operador aonde ocorreu o problema.

Enquanto este não é solucionado, a produção ficará interrompida.

O sistema de pesagem e controlo das formulações é supervisionado por um computador que contém as indicações da dosagem de cada constituinte e todo o histórico de cada etapa do processo. Cada mistura tem os seus parâmetros operacionais de pesagens e tempos registados, permitindo assim, a rastreabilidade para o controlo da qualidade nessa base de dados.

Na figura 13 é apresentada, em corte, uma fábrica de Argamassas Secas incluindo todas as fases anteriormente descritas.

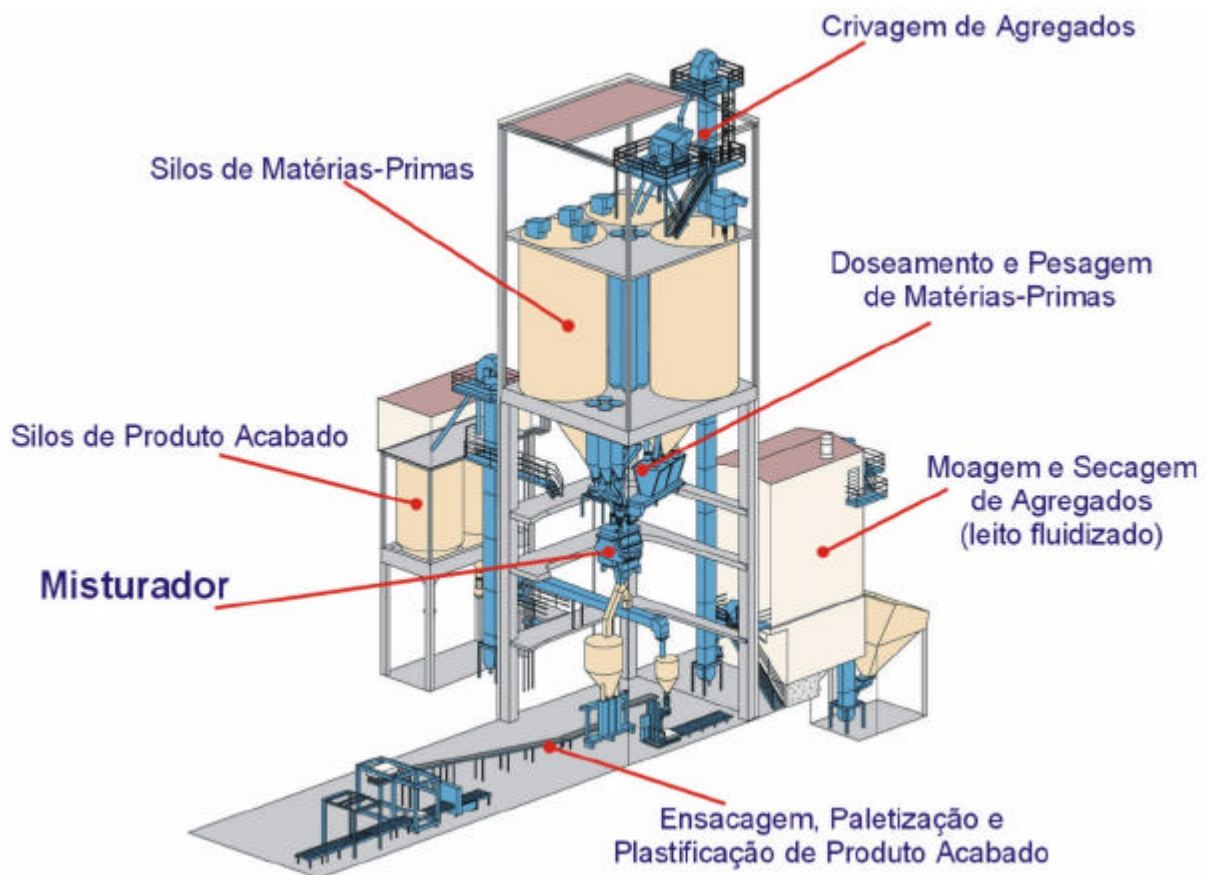


Figura 13: Esquema em corte de uma fábrica de argamassas secas

5.5 Controlo Ambiental

A poluição é um fenómeno estreitamente ligado ao progresso industrial, a degradação das condições ambientais tem aumentado de maneira considerável e preocupante nas regiões mais desenvolvidas do mundo, sobretudo a partir de meados do século XX.

Poluição é nada mais do que a emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos em quantidade superior à capacidade de absorção do meio ambiente, interferindo, esse excesso, directamente no equilíbrio dos ecossistemas.

A Eco-Eficiência surge como a sustentabilidade da actividade industrial que pode ser conseguida dentro de cada empresa, passando este conceito a fazer parte corrente das “obrigações” a que a empresa tem de fazer face, como nova componente da sua responsabilidade social.

A Eco-Eficiência corresponde também a um conceito de gestão empresarial que tende a promover, no seio da empresa uma organização mais lucrativa dos seus processos produtivos e dos produtos fabricados ou serviços prestados. O conceito de Eco-Eficiência implica assumir que economia e ecologia não se excluem mutuamente, antes pelo contrário, a sua combinação harmoniosa representa benefícios quer para as empresas quer para a sociedade, garantindo a continuidade dos negócios numa base sustentável.

A implementação de formas de produção mais limpas depende da avaliação do modo como as matérias-primas são usadas, incluindo a água e a energia, bem como do conhecimento da quantidade de águas residuais, de resíduos sólidos e de emissões gasosas originados durante a produção. Para se conseguir uma produção mais limpa é necessário desenvolver esforços para reduzir o uso de recursos naturais e para reduzir na fonte a produção de substâncias poluentes. A medição correcta dos parâmetros de processo e das fontes de poluição constitui o primeiro passo para diminuir a produção de poluentes na origem [51].

A monitorização de parâmetros-chave ou o controlo ambiental constitui um elemento importante no âmbito de todas as tentativas para optimizar os processos e de conservar recursos, que por sua vez permitirão uma produção mais limpa de bens e serviços. A

monitorização é também necessária para verificar se as descargas e emissões estão conformes com as condições e autorizações de descarga e/ou se não estão a causar dano impróprio nos ambientes receptores.

Na indústria são encontrados numerosos processos e actividades, pelo que a monitorização de emissões e de resíduos pode ser necessária por razões muito diferentes. De entre estas razões destacam-se as seguintes:

- Optimização de processos,
- Diagnóstico ambiental;
- Cumprimentos de normas e/ou de autorizações de descargas;
- Controlo de qualidade;
- Higiene e segurança;
- Elaboração de relatórios ambientais;
- Verificação do cumprimento das metas definidas no plano de gestão ambiental [51].

A informação obtida a partir das medições pode ser usada para otimizar um processo, para maximizar a produção de um produto, melhorar ou manter a sua qualidade e minimizar as emissões de desperdícios para o ambiente. O processo de optimização é uma componente importante da gestão ambiental, e uma monitorização capaz permitirá melhorar o nível de controlo exercido sobre os parâmetros de fabrico. Os parâmetros monitorizados são específicos do processo mas incluem, com frequência, variáveis como a temperatura, a pressão, dimensões físicas ou movimento, para além de parâmetros químicos [51].

A monitorização das matérias-primas e de outros elementos de um processo de fabrico é frequentemente uma exigência prévia para uma operação eficiente. A inspecção dos produtos acabados pode também revelar ineficiências que indirectamente conduzam à identificação dos desperdícios no processo de fabrico e, por conseguinte, a poluição indesejada. A monitorização da qualidade é bastante específica de cada processo de fabrico, sendo necessário defini-la caso a caso. É importante que seja feita a monitorização dos locais de trabalho onde existem riscos de exposição dos trabalhadores a substâncias perigosas. Nestas situações, os procedimentos a adoptar e os limites de exposição a diversos agentes são geralmente bem conhecidos. Em certos casos, as

técnicas e os instrumentos usados para a monitorização da higiene e segurança podem ser adaptados a partir das medições de gases e de matérias particulares inaláveis [51].

Numa fábrica existem muitos processos e fases de processamento, bem como diversas matérias-primas e desperdícios, o que torna necessário ter uma ideia clara do que necessita de ser monitorizado e onde. A escolha correcta dos parâmetros de processo é determinada pelos objectivos do programa de monitorização, mas mesmo assim existem diversas possibilidades. Pode, no entanto, indagar-se acerca do uso a dar aos resultados e que interpretação se fará em função dos valores que potencialmente se poderão medir [51].

Em termos genéricos, as grandes áreas que devem ser sujeitas a investigação incluem:

- Dentro das instalações de produção:
 - Os processos industriais;
 - As matérias-primas e a energia utilizadas;
 - Os resíduos gerados no processo;
- Fora das instalações de produção:
 - As descargas para o ambiente;
 - A qualidade ambiental e processos ecológicos [51].

Tal como o conceito de Qualidade assumiu nas últimas décadas um papel importante na modernização empresarial e na harmonização da sua actividade com as necessidades sociais, também a Eco-Eficiência irá representar, no século XXI, uma nova visão, em que Homem e Ambiente se interligam. A Eco-Eficiência implica a melhoria dos processos, aumentando a sua eficiência e provocando, dessa forma, reduções dos custos de produção. Implica também o desenvolvimento de novos e melhores produtos, com design optimizado, que promovam menores custos de fabricação, com menor incorporação de matérias-primas e de energia e menores implicações para o ambiente resultantes, quer da produção, quer da utilização e do destino final do produto no termo da sua vida útil. Tal ideia leva a um conceito que surge associado ao da sustentabilidade: a Análise do Ciclo de Vida dos produtos. Esta análise permite avaliar, por exemplo, a quantidade de recursos empregues para fabricar o produto, o impacte da produção sobre o ambiente e sobre as reservas de recursos, as eventuais implicações ambientais associadas à utilização do

produto, a reciclabilidade dos materiais no final da vida, as implicações associadas ao fim de vida do produto. Efectivamente, o impacte ambiental de um produto começa com a extracção das matérias-primas que ele incorpora, as quais podem passar por diversas transformações até chegar ao fabricante. O produto acabado é eventualmente embalado e, por um sistema de distribuição mais ou menos complexo, chega ao consumidor final. Uma vez terminada a sua vida útil, o produto e a sua embalagem convertem-se em resíduos, que têm que ser devidamente geridos.

O caminho a seguir pelas empresas passa, por isso, pela adopção de um posicionamento em termos ambientais que torne possível a manutenção, ou mesmo a melhoria, da sua posição no mercado. Assim, torna-se necessário avaliar as várias componentes ambientais da indústria das argamassas, detectando as acções que geram um maior impacte ambiental global e analisar possíveis soluções técnicas para a sua minimização.

5.5.1 Aspectos ambientais de uma fábrica de argamassas

Embora as indústrias de argamassas não se possam considerar das indústrias mais poluentes, elas são caracterizadas principalmente, pelos seguintes aspectos ambientais:

Partículas em Suspensão

O diâmetros dos poluentes presentes na forma de partículas em suspensão varia desde 0,01 μm a 100 μm . Devido à alargada gama de tamanhos que estes números traduzem, é praticamente impossível conceber um equipamento simples que consiga remover eficientemente as partículas com diâmetros no intervalo referido. Por conseguinte, é necessário caracterizar-se o tamanho e a frequência relativa das partículas a remover [51]. As partículas provenientes de uma fábrica de argamassas assumem uma variação de dimensões típica de 5-100 μm .

Nos locais de trabalho devem manter-se boas condições de ventilação natural, recorrendo-se à artificial complementarmente quando aquela seja insuficiente ou nos casos em que as condições técnicas da laboração o determinem.

O caudal médio de ar fresco e puro recomendado é de, pelo menos, de 30 a 50m³/h trabalhador, devendo evitar-se correntes de ar perigosas ou incómodas.

No entanto, e dadas as características de funcionamento das fábricas de argamassas industriais secas, existem locais onde o nível de partículas pode ser consideravelmente elevado, especialmente nas zonas de tratamento de agregados, quando estas existem nas unidades de fabrico, ou ainda nas zonas de armazenagem e movimentação de agregados, ligantes e produto acabado. Assim, será necessário a instalação de equipamentos de despoeiramento, vulgarmente designados por filtros, nestas zonas, com área de filtração dimensionada ao caudal e emissão máxima entre 5 e 10 mg/Nm³.

As unidades industriais mais recentes são equipadas com centrais de vácuo com ventiladores que permitem uma aspiração e limpeza das unidades pelos diferentes pisos das instalações, promovendo também, a recolha de poeiras, bem como equipamentos de filtração de poeiras nas zonas mais sensíveis, incluindo as mangas de granel.

Resíduos

Quando se aborda o problema da geração de um resíduo, têm de ser consideradas as seguintes prioridades:

- A prevenção dos resíduos e a redução na fonte;
- A reutilização directa;
- A reciclagem não destrutiva;
- A gestão do resíduo através de medidas “fim-de-linha”.

As três primeiras prioridades são as únicas sustentáveis a longo prazo. A quarta é necessária pela existência actual de resíduos sem solução a curto prazo e só deve ser aplicada com o objectivo de minimizar os efeitos negativos da não gestão de resíduos.

Infelizmente, a reciclagem e os métodos de tratamento final surgem, quase sempre, como soluções únicas e a metodologia dos 3 R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) assenta sobretudo numa acção de sensibilização moral.

No âmbito da gestão de resíduos, existe preferência por uma abordagem preventiva. Assim, em primeiro lugar, as políticas de gestão de resíduos devem examinar todas as origens de resíduos e estabelecer metas para a sua redução. A redução da produção de resíduos conseguida deste modo conduzirá a poupanças em termos das matérias-primas

perdidas na forma de resíduos e, ao mesmo tempo, a poupança da energia da no fabrico dos produtos que são, depois, descartados por não terem a qualidade adequada. Em segundo lugar, a política de gestão de resíduos pode concentrar-se em encontrar modos de valorização ou de eliminação adequada para os resíduos considerados inevitáveis [51].

A valorização apresenta outros benefícios ambientais, para além de reduzir as quantidades de materiais a colocar em aterros para diferentes classes de resíduos (materiais inertes, resíduos não perigosos, resíduos perigosos).

Tal como todas as empresas geradoras de resíduos, também as indústrias de argamassas têm de ser regidas por um Sistema de Gestão de Resíduos.

Deste modo, tem que se ter em atenção que as empresas transportadoras e o destino final escolhidos para os resíduos devem estar devidamente licenciados pelas entidades competentes. Seguidamente, serão abordadas algumas das regulamentações que as indústrias de argamassas terão de fazer cumprir quanto ao Sistema de Gestão de Resíduos.

O transporte de resíduos deve ser efectuado em condições ambientalmente adequadas, de modo a evitar a sua dispersão ou derrame, e considerando, designadamente, os seguintes requisitos:

- Os resíduos líquidos ou pastosos devem ser acondicionados em embalagens estanques, cuja taxa de enchimento não exceda 98%;
- Os resíduos sólidos podem ser acondicionados em embalagens ou transportados a granel, em veículo de caixa fechada ou veículo de caixa aberta, com a carga devidamente coberta;
- Todos os elementos de um carregamento devem ser convenientemente arrumados no veículo e escorados, por forma a evitar deslocações entre si ou contra as paredes do veículo;
- Quando, no carregamento, durante o percurso ou na descarga, ocorrer algum derrame, a zona contaminada deve ser imediatamente limpa.

Dada a obrigatoriedade de preenchimento de uma guia de acompanhamento de resíduos em triplicado (modelo A), por cada transporte efectuado, devem ser realizados os seguintes procedimentos:

O produtor ou detentor deve:

- Preencher convenientemente a guia de acompanhamento;
- Verificar o preenchimento pelo transportador dos três exemplares da guia de acompanhamento;
- Reter o exemplar da guia de acompanhamento correspondente.

O transportador deve:

- Fazer acompanhar os resíduos dos dois exemplares da guia de acompanhamento;
- Após entrega dos resíduos, obter do destinatário o preenchimento do campo correspondente nos dois exemplares;
- Reter o seu exemplar, para os seus arquivos e fornecer ao destinatário ou detentor dos resíduos o exemplar correspondente.

O destinatário dos resíduos deve, após recepção dos resíduos:

- Efectuar o preenchimento dos dois exemplares na posse do transportador e reter o seu exemplar da guia de acompanhamento para os seus arquivos;
- Fornecer ao produtor ou detentor, no prazo de 30 dias, uma cópia do seu exemplar.

O produtor ou detentor, o transportador e o destinatário dos resíduos devem manter em arquivo os seus exemplares da guia de acompanhamento por um período de cinco anos.

Os responsáveis pelos serviços de ambiente das indústrias de argamassas têm também, que proceder ao preenchimento do mapa de registo de resíduos industriais, que devem ser entregues todos os anos à CCDR (Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional) da sua área geográfica.

A tabela 20, apresenta alguns dos resíduos vulgarmente produzidos nas unidades de fabrico de argamassas industriais secas, codificadas com o seu respectivo código LER (Lista Europeia de Resíduos):

Tabela 20: Lista de resíduos produzidos em unidades fabris de argamassas

Código LER	Designação
10 13 99	Resíduos do equipamento de despoejamento e Produto não conforme - argamassas
13 02 05	Óleos usados
14 06 03	Solventes
15 01 01	Embalagens de papel e cartão
15 01 02	Embalagens de plástico
15 01 03	Embalagens de madeira
15 01 06	Mistura de embalagens
17 09 04	Mistura de resíduos da construção e demolição (não contendo substâncias perigosas)

Existem ainda resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as fracções recolhidas selectivamente como, por exemplo, papel e cartão, vidro, plástico, resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas, ou simplesmente, mistura destes resíduos urbanos e equiparados (código LER 20 03 01).

A deposição em aterro implica uma perda de valor potencial dos componentes depositados e a ocupação de grandes áreas. É cada vez mais difícil encontrar locais adequados para aterros, à medida que as áreas urbanas expandem. As populações não estão dispostas a aceitar um aterro perto das suas habitações e, para construir aterros convenientemente localizados e ambientalmente correctos, são necessários grandes investimentos, no sentido de cumprir a regulamentação rígida que visa proteger a saúde pública e o ambiente onde se integram.

Tem-se, portanto, que reconhecer os resíduos como recursos e perceber que o resíduo tem valor, tanto em termos económicos como ambientais. Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo que venha a

estabelecer-se como uma alternativa de mercado viável, é uma tarefa complexa que envolve conhecimentos multidisciplinares [52].

Em muitos países desenvolvidos, devido ao constante aumento de custo das matérias-primas e redução dos recursos naturais, a reutilização de resíduos é uma alternativa potencial na indústria da construção civil (ex.: resíduos da construção e demolição (RCD), escórias do alto forno, sucata de aço, cinzas volantes, etc.) [53,54].

A reciclagem de resíduos pelo sector da construção civil tem-se consolidado como uma prática importante para a sustentabilidade, através da atenuação do impacte ambiental gerado pelo sector ou da redução de custos [52].

Uma das possibilidades de reciclagem dos RCD é a sua utilização na produção de agregados com elevado teor de materiais finos para argamassas sem fins estruturais, tais como assentamento de alvenarias e revestimento de paredes [55,82].

É conhecido o grave problema do elevado volume de resíduos da construção e demolição (RCD) gerado pela construção civil, tanto por obras novas como em reabilitação ou em demolições.

O volume de resíduos da construção e demolição gerado em todo o mundo é alarmante. Por ano, são produzidos na Alemanha cerca de 33 milhões de toneladas. Na Inglaterra, chega a 70 milhões de toneladas por ano e na França, de 20 a 25 milhões. No oeste da Europa, a quantidade é cerca de 0,7 a 1 tonelada por habitante, quase 2 vezes a massa do resíduo sólido municipal.

Todo este volume de RCD está a tornar os aterros cada vez mais esgotados. Além disso, devido às dificuldades em deposição em aterro devido ao seu custo, muitas vezes este resíduo é vazado clandestinamente, tornando-se uma fonte de problemas e de constantes prejuízos.

Este tema tem sido estudado por vários países como a Holanda, Bélgica, França, Japão, Alemanha e Grã-Bretanha. Na Alemanha, por exemplo, 60% dos RCD gerados é reciclado; na Holanda, o volume de reciclagem ultrapassa os 80% [56].

Do ponto de vista industrial, talvez a grande dificuldade que os resíduos de construção e demolição enfrentem seja a sua elevada heterogeneidade. No entanto, existem alguns

estudos com sucesso de incorporação destes resíduos, nas argamassas industriais [55-58,82].

Estes estudos apresentam experiências realizadas com agregados provenientes de resíduos de construção e demolição em argamassas industriais, nomeadamente rebocos, onde foram estudadas algumas das mais importantes propriedades como a resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tracção na flexão e retracção por secagem. Embora as propriedades mecânicas destes rebocos com a utilização destes agregados reciclados não foram alterados, houve uma influência directa no teor de água necessário para atingir a trabalhabilidade desejada, originada pela composição granulométrica dos RCD utilizados. De facto, observou-se que o teor de finos totais menores a 75 μm influenciou o teor de água e a retracção das argamassas [55-58,82].

Existem ainda, outros trabalhos que avaliam de forma positiva a experiência da reciclagem de resíduos de construção e demolição assim como, resíduos de extracção mineral do solo que podem ter como destino a produção de betão e argamassas [59-61]. A fracção granulométrica 0,6 – 0,125 mm dos resíduos de construção e demolição reciclados pode ser directamente reutilizadas na produção de novas argamassas e betão, enquanto as fracções mais finas podem ser utilizadas como componentes para processos industriais de fabrico de materiais cerâmicos como os tijolos e as telhas [60].

Outra valorização que correntemente é feita nas indústrias de argamassas é a reciclagem de produto proveniente dos filtros de despoeiramento e de produto não conforme.

Vulgarmente as partículas finas recolhidas pelos equipamentos de despoeiramento de linha são descarregadas num silo de resíduos e reintroduzidas, como se de uma matéria-prima se tratasse, no fabrico de argamassas menos nobres como a argamassa de alvenaria.

Um outro resíduo que pode ser reciclado internamente nas unidades industriais de argamassas é o produto não conforme. Apesar de não ser uma situação frequente dada automatização do processo, a reciclagem, neste caso, é efectuada no fabrico do próprio produto e a quantidade a reciclar por cada fabrico deve ser avaliada caso a caso e de acordo com o tipo de não conformidade que lhe está associado. O processo aconselhado

para este tipo de reciclagem é a reintrodução dos resíduos directamente no misturador aquando do fabrico do produto em questão.

Ruído

Sendo algumas fases de fabrico do processo produtivo de argamassas secas, locais de elevado nível de ruído devido às características do equipamento utilizado, nomeadamente, a fase de preparação de matérias-primas (secador, moinho e crivos) e a fase de mistura, é necessário fazer uma avaliação de ruído para que, desta forma se possa tomar medidas preventivas face a este problema.

Os efeitos nocivos do ruído sobre a saúde humana e o ambiente, nomeadamente a degradação das condições naturais do ambiente e consequente alteração dos ecossistemas, dependem de vários factores, nomeadamente do tempo de exposição, da sua intensidade, do tipo de ruído (temporário ou permanente), da distância da fonte e da sensibilidade individual.

O Regime Legal sobre Poluição Sonora, também designado por Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, tem por objectivo a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e o bem-estar das populações. De acordo com este diploma, a análise da incomodidade causada pelo ruído tem por base dois períodos de referência: Diurno (7 – 22 h) e Nocturno (22-7 h). O regulamento estabelece também a distinção entre zonas sensíveis e zonas mistas, remetendo para as câmaras municipais a sua caracterização nos respectivos planos municipais de ordenamento do território.

Assim, em zonas sensíveis, vocacionadas para usos habitacionais, não podem ficar expostas a um nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, LAeq. do ruído ambiente exterior, superior a 55 dB(A) no período diurno e de 45 dB(A) no período nocturno.

As zonas mistas, definidas como áreas cuja ocupação seja afectada a outras utilizações, nomeadamente a indústria, comércio e serviços, não podem ficar expostas a níveis sonoros superiores a 65 dB(A) no período diurno e de 55 dB(A) no período nocturno.

Das restantes disposições legais estabelecidas pelo Regulamento Geral, realça-se que:

- Nas zonas sensíveis é proibida a instalação e o exercício de actividades ruidosas de carácter permanente.
- A instalação e o exercício de actividades ruidosas de carácter permanente na proximidade de edifícios de habitação, escolas, hospitais ou similares não podem, em qualquer caso, infringir os limites fixados para as zonas sensíveis e para as zonas mistas bem como a diferença de 5 dB(A) para o período diurno ou de 3 dB(A) no período nocturno.

Em termos de procedimentos gerais necessários para a caracterização dos níveis de ruído em toda a unidade industrial, é estabelecido, numa fase inicial é estabelecido um Programa de Controlo de Ruído para a unidade, constituído pelas seguintes fases:

1. *Levantamento dos níveis de ruído* – normalmente começa-se por fazer uma primeira avaliação dos níveis de ruído, medindo o nível sonoro global em dB(A).
2. *Avaliação da situação* – após o levantamento da situação, deve-se avançar para a redução dos níveis de ruído, definindo prioridades como:
 - Listar locais de trabalho por ordem decrescente dos níveis de ruído, tendo em consideração o número de trabalhadores expostos;
 - Definir um programa de redução dos níveis de ruído de acordo com esta classificação e com a existência de situações de incomodidade decorrentes das várias actividades realizadas na fábrica.
3. *Redução dos níveis de ruído* – a redução dos níveis de ruído é um processo que poderá ser realizado em passos sucessivos, até se atingir a meta pretendida ou através de uma solução integrada que dê os mesmos resultados. Normalmente, as soluções implementadas actuam a vários níveis:
 - *Na fonte*: eliminando ou reduzindo o ruído na sua origem. Isto pode ser conduzido através do tratamento acústico do próprio equipamento, introduzindo alterações ao projecto ou substituindo-a por outra menos ruidosa;

- *Na transmissão:* cortando ou eliminando os caminhos da propagação sonora. Por exemplo através de uma capotagem total ou parcial; colocando barreiras acústicas; introduzindo apoios antivibratórios para eliminar a transmissão sólida; actuando ao nível do tecto e paredes com material acústico absorvente para diminuir as reflexões, colocando o operador dentro de uma cabina insonorizada;
 - *Na recepção:* impondo a utilização de protectores auriculares ou actuando a nível da organização do trabalho, através, de por exemplo da rotação dos trabalhadores.
4. *Avaliação dos resultados obtidos* – no final de um programa de redução dos níveis de ruído, deverão ser realizadas medições para comparação dos resultados obtidos com as metas pretendidas. Por outro lado, é importante averiguar se as soluções implementadas não interferem com a manutenção e segurança dos equipamentos, não despertem reacções adversas por parte do operador e não contribuem para uma quebra da produtividade.

Nas instalações mais recentes, pela análise dos níveis de avaliação calculados observa-se que o ruído originado pelo funcionamento das fábricas de argamassas não apresenta impacte sonoro significativo nas zonas potencialmente mais afectadas, nos períodos diurnos e nocturnos cumprindo tipicamente os limites estipulados no Regulamento Geral do Ruído para as zonas mistas.

6. O SECTOR NACIONAL DAS ARGAMASSAS INDUSTRIAIS

6.1. Metodologia da recolha de dados

6.2. Análise dos dados

6. O sector nacional das argamassas industriais

O sector das argamassas industriais em Portugal tem vindo a desenvolver-se, desde o início do século XX, de uma forma expansiva. Este crescimento sustentado do mercado deve-se, por um lado, à introdução progressiva de empresas nesta actividade, umas, já líderes de mercado em materiais de construção com uma estratégia de força de vendas bastante forte, outras, pequenas empresas que encontraram uma oportunidade de negócio com o abandono progressivo das técnicas tradicionais de construção. Por outro lado, as novas técnicas de construção, um conhecimento mais profundo dos materiais, a preocupação do conforto e higiene da habitação e um mercado cada vez mais concorrencial aliado ao cumprimento de normas técnicas, trouxeram uma nova perspectiva sobre a utilização das argamassas industriais para um fim determinado.

As construções antigas, até 1900 eram construídas segundo processos tradicionais, baseados no empirismo, em que as soluções eram baseadas nas formas simples, os materiais empregues eram sempre os mesmos e as casas tradicionais portuguesas ainda hoje atestam essa boa construção [62]. Tinha-se em conta também o conhecimento tradicional dos materiais locais, bem como as condições climáticas locais.

Contudo, com o processo de migrações internas e externas, assistiu-se a um “desaprender” sobre as técnicas construção tradicionais, os conhecimentos que eram transmitidos de pais para filhos, ou de mestres para aprendizes, foram-se perdendo ao longo dos tempos. Por outro lado, com o aumento crescente do ritmo de construção foi necessário não só procurar novos materiais como novas técnicas e novos processos de construção [1,62].

Hoje, uma argamassa tradicional pode desencadear patologias devido à sua formulação não ser rigorosa ou, simplesmente, por não ser compatível com os materiais utilizados. A incompatibilidade pode dizer respeito aos materiais constituintes ou, aos materiais, sobre os quais a argamassa é colocada.

Assim, nos últimos anos tem-se verificado uma alteração significativa ao nível tecnológico da produção de argamassas industriais e, conseqüentemente, nas características dos produtos finais. A formulação destes produtos, cujas prestações são rigorosamente conhecidas e controladas, implica a utilização, de aditivos e adjuvantes, que contribuem

para modificar as propriedades das argamassas, ajustando-os a determinadas condições de uso, à natureza dos materiais e ao desempenho pretendido.

6.1 Metodologia da recolha de dados

A caracterização do mercado das argamassas, um dos objectivos deste trabalho, envolveu a pesquisa dos dados disponíveis e consequente análise e tratamento (figura 14).

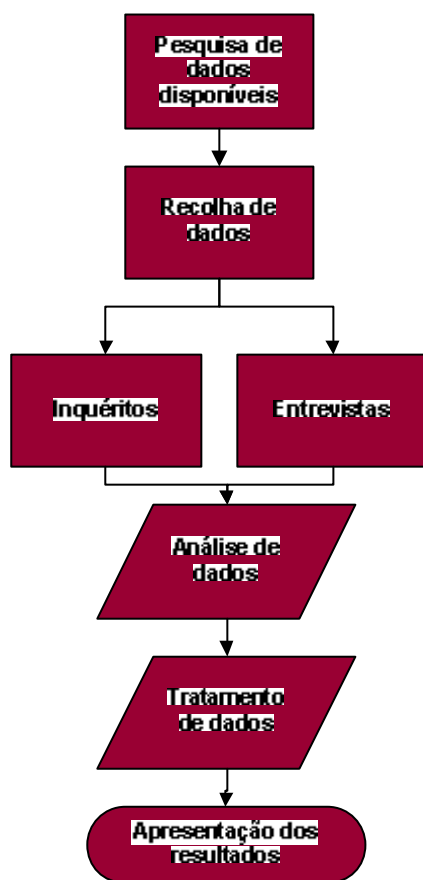


Figura 14: Etapas metodológicas

Os dados disponíveis para a formulação deste estudo constataram-se insuficientes ou praticamente inexistentes, resumindo-se a algumas estimativas existentes na APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção sendo, por isso, necessário proceder à recolha de dados, relativos ao triénio de 2002-2004, através de inquéritos e entrevistas a algumas entidades, nomeadamente em termos de:

- Associados da APFAC;

- Fabricantes de matérias-primas para as argamassas, com especial incidência aos produtores de cimento.
- Associações Nacionais, cujo âmbito de intervenção se relacionasse com a construção.
- Instituto Nacional de Estatística.

A pesquisa de dados consistiu no levantamento do mercado de argamassas em Portugal, nomeadamente:

- Empresas produtoras
- Distribuição geográfica
- Tipo de produtos produzidos
- Quantidades produzidas de argamassas industriais
 - Em quantidade (t)
 - Em Valor (€)
- Quantidades de argamassas tradicionais produzidas em estaleiro
- Análise das perspectivas futuras de evolução do mercado em Portugal
 - Produção estimada de argamassas industriais
 - Produtos (novas necessidades)

6.2 Análise dos dados

Dado o carácter das informações recolhidas e por recomendação das entidades fornecedoras dos dados, esta informação terá de ser apresentada de forma a não se poder identificar a sua origem (garantia de confidencialidade).

6.2.1 Situação actual

No panorama nacional, apesar do crescimento que se tem verificado nos últimos anos, o mercado das argamassas caracteriza-se, fundamentalmente, pelas argamassas feitas em obra que constituem aproximadamente 78% da produção total de argamassas. Estima-se que a produção anual destas argamassas seja de 3 600 000 toneladas, tendo este valor

sido calculado a partir das vendas de cimento em saco. De acordo com as fontes *Cimpor* e *Secil* cerca de 60% das vendas de cimento em saco são destinadas à fabricação das argamassas tradicionais. Os restantes 22% da produção nacional de argamassas industriais repartem-se como indicado na Figura 15 (*fonte: APFAC*).

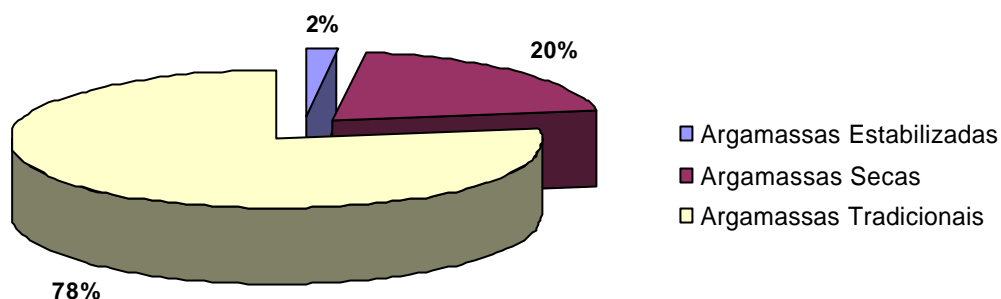


Figura 15: Distribuição da produção nacional de argamassas

Numa análise ao sector das argamassas industriais, pode-se observar que este mercado é constituído maioritariamente pelas argamassas secas, cerca de 91% (*fonte: APFAC*) e pelas argamassas estabilizadas, que tendencialmente têm vindo a perder mercado face às anteriores (Figura 16).

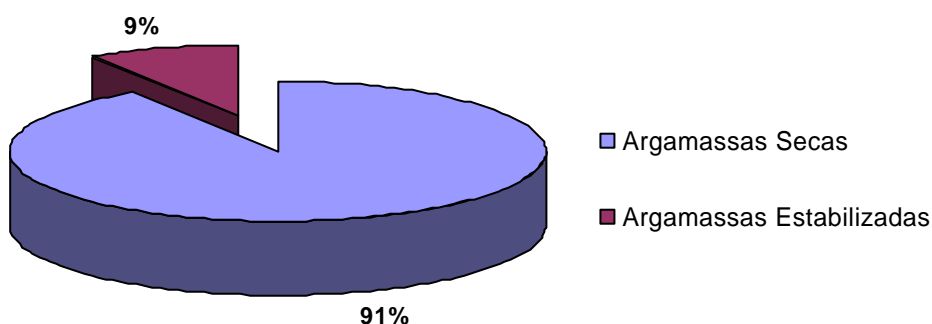


Figura 16: Distribuição da Produção das Argamassas Industriais em Portugal, APFAC, 2004

Em Portugal a produção de argamassas secas tem tido um crescimento significativo. Em 2003 registou-se um crescimento de aproximadamente 7% face ao ano de 2002 e em 2004 o crescimento foi de 14%, face a 2003 (Figura 17). Contudo, este crescimento não foi apenas provocado por um grande aumento da produção, mas sim, efectuado de forma a acompanhar as evoluções da tecnologia disponível e do tipo de produto final pretendido. Este crescimento surge de forma sustentada com a implantação de novas empresas, mas sobretudo, pelo crescimento das já existentes no mercado e diversificação das suas gamas de produtos.

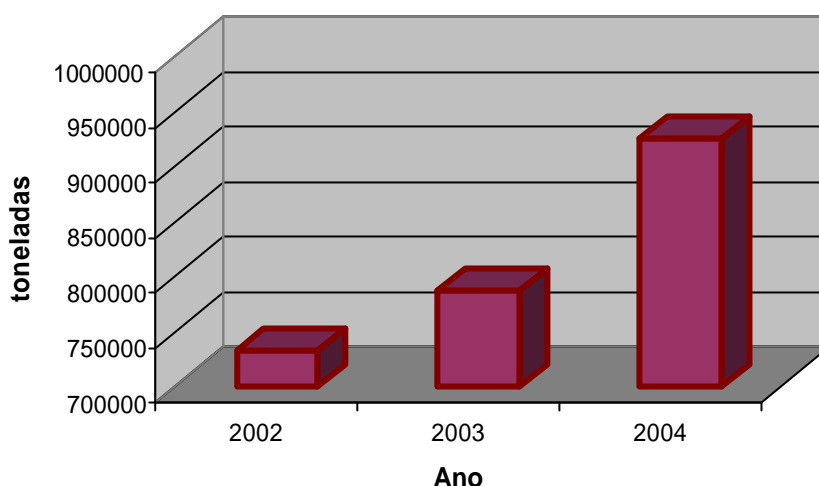


Figura 17: Crescimento de produção de argamassas entre 2002-2004.

Na verdade, o que se tem vindo a assistir é à concentração da produção em unidades cada vez maiores, com ganhos de economia de escala e de qualidade dos produtos, por se tratarem de unidades fabris tecnologicamente mais desenvolvidas.

De acordo com estimativas de algumas associações nacionais e a *EMO – European Mortar Organization*, a capitação de argamassas industriais em Portugal será aproximadamente de 100 kg/hab. Quando se compara este valor com os valores de alguns países europeus, nomeadamente França e Reino Unido, verifica-se que Portugal assume uma capitação elevada (Figura 18).

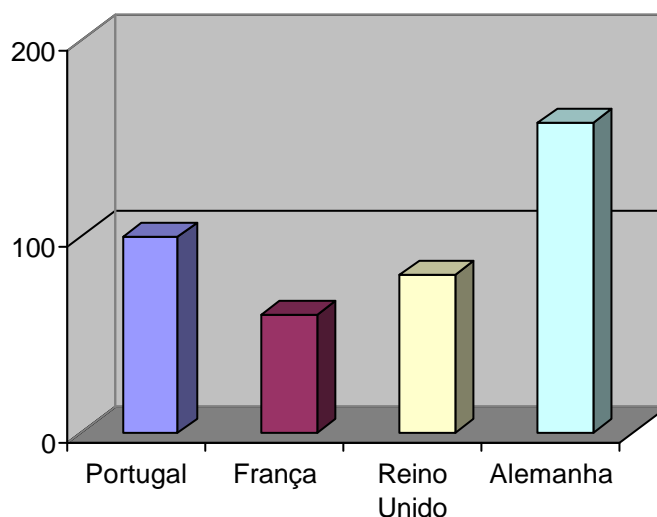


Figura 18: Capitação de Argamassas Fabris (kg/habitante), fonte APFAC, 2004

Para o cálculo da quantificação das argamassas industriais e tradicionais em toneladas e em euros, os dados fornecidos pelos produtores de cimento e associados APFAC revelaram-se fundamentais, pois as suas estatísticas e estimativas apresentam grande fiabilidade.

As vendas de cimento para produtores de argamassas industriais correspondem a 2% do mercado *Secil* e também a 2% do mercado *Cimpor*, originando um consumo total de 153.751 toneladas. Neste estudo, não foi contabilizado o valor referente à importação de cimento, dado se considerar pouco importante, face à produção nacional.

A Tabela 21, apresenta a evolução da produção das argamassas secas em toneladas e o seu respectivo valor estimado de vendas, em euros, assumindo o valor médio constante neste triénio em estudo.

Tabela 21: Produção de argamassas secas		
Produção de Argamassas Secas		
Ano	Toneladas (t)	Euros (€)
2002	732 147	52.100.000
2003	787 315	56.200.000
2004	925 038	66.000.000

A produção nacional de argamassas distribui-se de forma concentrada na faixa litoral do País, com especial incidência nas zonas centro e norte (Tabela 22, Figura 19), como consequência da localização geográfica dos fornecedores de matérias-primas e do desenvolvimento do mercado da construção civil.

Tabela 22: Distribuição da produção, fonte APFAC, 2004

Distrito	Número de Unidades de Produção
Aveiro	4
Leiria	14
Lisboa	10
Porto	5
Santarém	3
Setúbal	2
Total	38

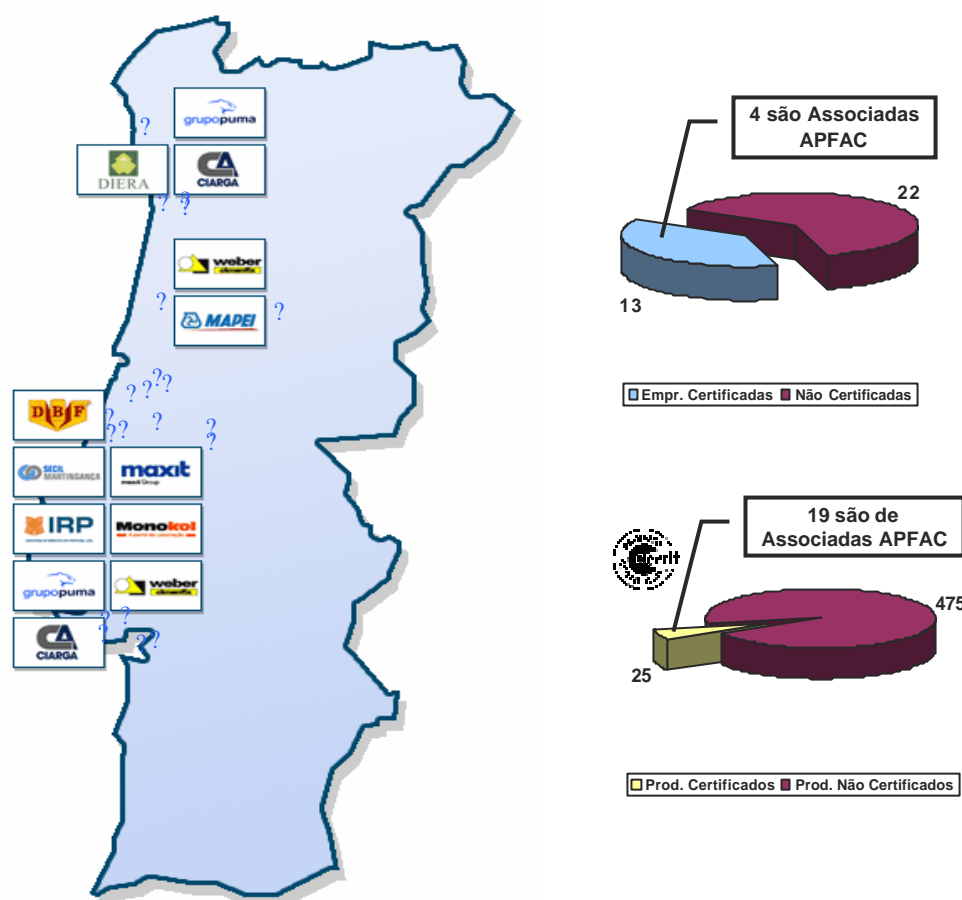


Figura 19: Distribuição geográfica das empresas produtoras de argamassas industriais e sua natureza, APFAC, 2004

No que diz respeito aos tipos de produto produzidos em fábrica, a Tabela 23 apresenta a sua distribuição, agrupando-os de acordo com a sua utilização. Da análise da mesma tabela, observa-se que as argamassas secas permitem oferecer uma maior diversificação de produtos, com especializações distintas quando comparadas com as estabilizadas.

Tabela 23: Tipos de argamassas produzidas em Portugal

Tipos de Argamassas	
Argamassas Secas	Reboco Monomassas Alvenarias Cimento-Cola Massas de Juntas ETICS Pavimentos Outras
Argamassas Estabilizadas	Reboco Alvenarias Pavimentos

Considerando os anos de referência neste estudo, o triénio 2002 - 2004, observa-se que os rebocos, as argamassas de colagem (cimentos-cola) e as argamassas de alvenaria representam 93% da produção média nacional, os restantes 7% da produção dividem-se em juntas, pavimentos e argamassas especiais incluindo os sistemas ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems* (Figura 20).

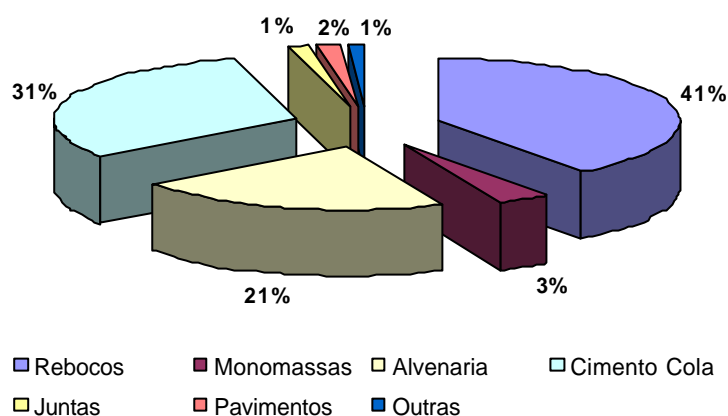


Figura 20: Distribuição por tipo de produto de argamassas secas

As argamassas industriais, de acordo com as suas características, podem apresentar-se ao cliente final sob diferentes formas de expedição. Assim, as argamassas estabilizadas, preparadas em centrais, são transportadas em camiões cisternas para obra e aí depositadas, já prontas, em tinas. As argamassas secas, por sua vez, podem chegar ao utilizador a granel ou em saco. Uma vez na obra, são ali misturadas com água, em betoneiras normais ou em máquinas de amassadura e projecção.

De acordo com os inquéritos efectuados, estima-se que a expedição de argamassas secas seja de aproximadamente 72% em saco e 28% a granel (Figura 21).

Estes dados estão associados, naturalmente, à tipologia de construção nos anos em análise. Por exemplo, relativamente aos anos de 2003 e 2004, a produção do segmento da construção de habitação registou uma redução de cerca de 18%, contribuindo desta forma, para uma diminuição das vendas em saco. Para a produção do segmento de edifícios não residenciais, verificou-se um crescimento de 4,7%, em volume, com a componente privada a crescer 5% e a pública 4%, originando uma expressão significativa

nas vendas a granel, impulsionadas pelas obras relacionados com o Euro 2004 (*fonte AECOPS*).

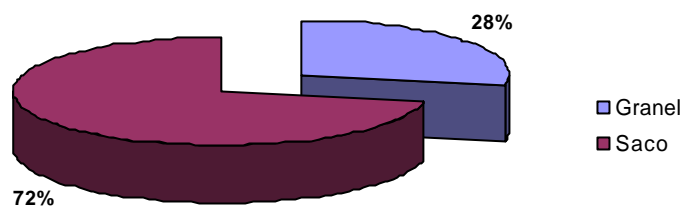


Figura 21: Distribuição por tipo de expedição

Para concluir a descrição da situação actual do mercado das argamassas em Portugal, apresenta-se, na Figura 22 o comparativo com alguns países europeus, nomeadamente França, Reino Unido e Alemanha, no que diz respeito à produção de argamassas industriais *versus* argamassas tradicionais. Portugal assume a maior produção de argamassas feitas em obra (3.600.000 t) e a menor produção de argamassas industriais (925.000 t) quando comparados os valores. Da mesma figura é possível aferir que a França apresenta a situação inversa, onde a produção de argamassas industriais representa maioritariamente a produção de argamassas (2.900.000 t) com uma produção de argamassas tradicionais pouco expressiva (500.000 t). A Alemanha é o país que assume a maior produção de argamassas industriais cerca de 10.000.000 t, contudo os dados disponíveis não permitem determinar a quantidade de argamassas produzidas em obra.

O Reino Unido, de acordo com os dados disponibilizados, apresenta a uma produção de argamassas aproximadamente de 4.900.000 t, distribuídas em 2.900.000 t de argamassas industriais e 2.000.000 t de argamassas tradicionais.

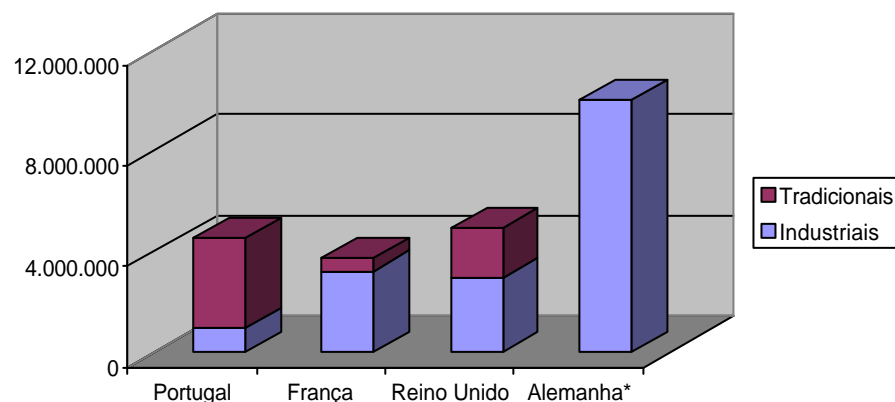


Figura 22: Argamassas industriais vs argamassas tradicionais (t), fonte APFAC, 2004

6.2.2 Tendências

Dadas as vantagens apresentadas por este tipo de produtos, pelo número de fabricantes e pelo seu crescimento, a tendência, nos próximos anos, prevê-se que seja semelhante aos anos estudados. Estima-se que para 2005, a produção atinja 1.000.000 toneladas de argamassas secas (*fonte: APFAC*).

O sector da construção em Portugal registou ao longo dos últimos anos uma forte quebra na construção nova de edifícios residenciais, mantendo-se a correcção dos níveis de produção durante os anos 2005/2006. Em 2007, a construção “nova” deverá voltar a crescer, contudo não se poderá comparar à produção das décadas passadas.

O segmento não residencial, com as perspectivas de evolução da economia a apontarem para uma retoma gradual, deverá seguir uma tendência de crescimento positivo [63,64].

Por outro lado, o futuro da construção, designadamente no que se refere à habitação, deverá passar pela promoção efectiva da reabilitação de edifícios degradados e pela conservação do património edificado.

De acordo com as estatísticas da EUROCONSTRUC-DAEI, o investimento médio da reabilitação, na União Europeia e em 1995, representava já 33% do total do sector da construção, valor superior aplicado na construção de novas habitações (26%). Por exemplo, em países como a França, Itália, Grã-Bretanha e Dinamarca, o investimento na reabilitação ultrapassava mesmo os 40%. As mesmas estatísticas revelam que em Portugal a situação era substancialmente diferente nesse mesmo ano. O investimento na construção de novos edifícios (29%), colocava Portugal no 6º lugar a nível europeu e o da reabilitação era praticamente insignificante, representando apenas 6% do investimento total, colocando Portugal no último lugar no conjunto dos países estudados [65]. Acompanhando a tendência europeia, prevê-se que nas próximas décadas Portugal apresente uma repartição diferente dos investimentos na construção, com destaque para o sector da recuperação/reabilitação de edifícios. Este sector poderá crescer significativamente, com fundamento nos seguintes aspectos:

- O parque habitacional *envelhecido* começa a ser relevante;
- Os prédios de rendimento, de iniciativa privada, construídos nas décadas de 50 e 60, apresentam-se degradados;

- A necessidade de canalizar recursos para a reabilitação dos edifícios existentes como consequência indirecta das limitações ao crescimento indiscriminado dos aglomerados urbanos previstas nos Planos Directores Municipais;
- A necessidade de contrariar o despovoamento dos núcleos urbanos antigos das cidades, como são a Baixa Pombalina de Lisboa e a Baixa do Porto, em favor do sector terciário e uma maior atenção na recuperação do património e dos centros históricos das nossas cidades;
- A existência de problemas de funcionamento e de patologias precoces em edifícios recentes [66].

Deste modo, começarão a surgir necessidades de produtos específicos na área da reabilitação, pois já são do conhecimento geral os erros graves cometidos em edifícios onde as argamassas antigas são recuperadas com materiais modernos de tecnologias de última geração [67,68].

Destaca-se a importância destes produtos, como oportunidade de desenvolvimento de novas argamassas cujo papel é fundamental em trabalhos de restauro.

Com base nestes pressupostos e no crescimento progressivo da taxa de substituição de argamassas tradicionais por argamassas industriais, estima-se que no ano de 2015 as últimas ascendam aos 2.000.000 de toneladas (*fonte APFAC*) (Figuras 23 e 24).

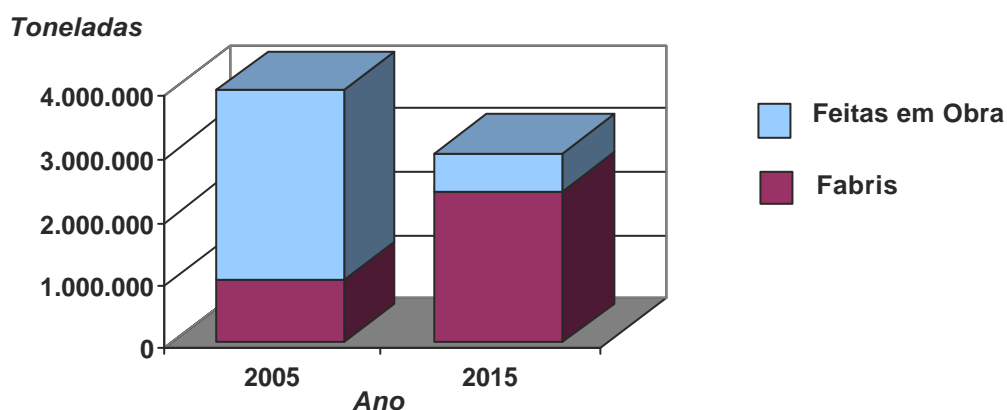


Figura 23: Perspectiva de crescimento (t), APFAC, 2004

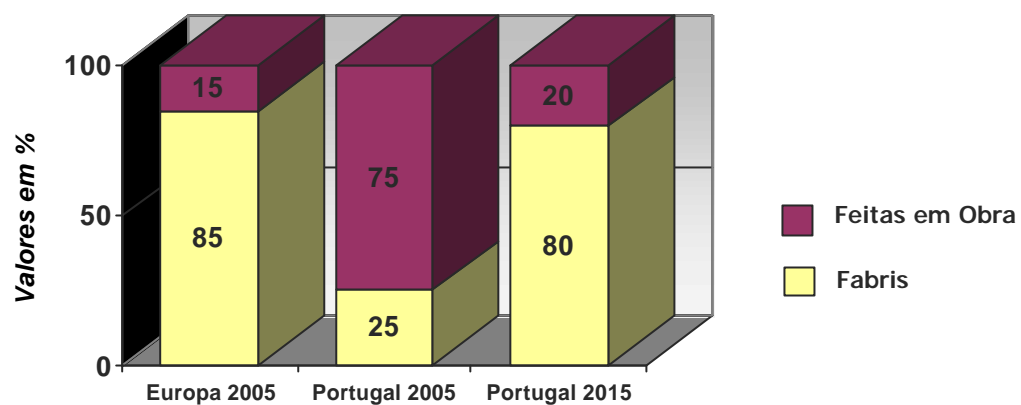


Figura 24: Perspectiva de crescimento: argamassas fabris vs argamassas industriais (t), APFAC, 2004

A figura 24 mostra ainda como esse crescimento do mercado nacional das argamassas industriais representa uma forte aproximação à situação do mercado europeu actual.

7. PATOLOGIAS DAS ARGAMASSAS

- 7.1. Considerações gerais
- 7.2. Caracterização das patologias mais relevantes
- 7.3. Aspectos de obra – Casos de estudo

7. Patologias das argamassas

Embora haja uma preocupação crescente com a qualidade da construção, traduzida pela introdução de regulamentação específica na área do conforto, verifica-se que os edifícios construídos nos últimos anos não apresentam a qualidade esperada. Pode-se mesmo afirmar que há alguns milhares de fogos, construídos recentemente, com patologias muito graves que condicionam a sua utilização [69].

A falta de sistematização do conhecimento, a ausência de informação técnica, a inexistência de um sistema efectivo de garantias e de seguros, a velocidade exigida ao processo de construção, as novas preocupações arquitectónicas, a aplicação de novos materiais, a inexistência na equipa de projectos de especialistas em física das construções podem ser causas fundamentais apontadas à falta de qualidade dos edifícios [69].

Deste modo, será importante, no âmbito do desenvolvimento e da caracterização das argamassas industriais, realizar-se uma descrição de algumas patologias associadas a estas argamassas, com o objectivo de identificar as suas causas e definir algumas estratégias de tratamento, contribuindo assim, para a melhoria da qualidade e durabilidades destes produtos e da construção. Na abordagem dos estudos de caso apresentados, destaca-se o seu papel pedagógico e de alerta de diagnóstico para patologias existentes.

7.1 Considerações gerais

A área do conhecimento que se dedica ao estudo das anomalias em edifícios, das suas origens e respectivas manifestações denomina-se por patologia (Gr. *páthos* + *logos*, *tratado*). Assume-se que o substantivo *patologia* tem ainda um outro significado, servindo também para identificar o próprio fenómeno anómalo em si, ou seja, todo o conjunto de manifestações associadas a uma cadeia de relações de causa-efeito [70].

Entende-se por diagnóstico como sendo o conjunto de procedimentos interdependentes e organizados com o objectivo único de compreender e explicar uma patologia através da

observação de manifestações e consequências. Estes procedimentos, porque lidam com uma realidade complexa, necessitam de estar apoiados em metodologias suportadas por processos científicos, para que contribuam para o estabelecimento de diagnósticos correctos [70].

Esta é sem dúvida, a tarefa mais complexa e imprecisa ao longo de todo o ciclo de vida de uma construção, apesar dos avanços científicos e tecnológicos que se têm verificado neste domínio.

Este processo confronta-se com duas limitações fundamentais, por um lado a dificuldade em estabelecer relações biunívocas entre as causas e os defeitos, quer pela coexistência de diversas causas e de diversos defeitos, quer pelo modo como se condicionam mutuamente. Por outro lado, a dificuldade, ou mesmo impossibilidade, de reconstruir fielmente a história do edifício, em particular no período de construção (os materiais, a execução, a destreza e qualificação da mão de obra, as condições atmosféricas, as pequenas alterações ao projecto e as reparações precoces, etc.).

Além destas limitações, acrescem duas outras dificuldades:

- O carácter destrutivo de muitas técnicas de diagnóstico;
- A incerteza sobre a representatividade dos eventuais ensaios, pois estes, são sempre localizados e em número limitado.

A existência de fenómenos anómalos recorrentes é resultado do insucesso de muitas reparações devido à existência ou inadequação do diagnóstico.

Assim constata-se, que o diagnóstico é sempre uma fase difícil, mas imprescindível ao sucesso das acções de tratamento/reabilitação na qual se deve investir com grau de empenho [23,70].

As patologias das argamassas podem ser classificadas, de acordo com a sua origem, em:

Congénitas - São aquelas que são originárias da fase de projecto, em função da não conformidade com as normas técnicas, ou de erros e omissões dos profissionais que resultam em falhas de projecto e concepção inadequada. São responsáveis por grande parte das patologias observadas nas construções.

Construtivas – a sua origem está relacionada à fase de execução da obra, resulta da mão-de-obra não especializada, do uso de produtos não controlados e da ausência de conhecimentos na área da construção. Segundo pesquisas mundiais, também são responsáveis por grande parte das anomalias em edificações.

Adquiridas - Ocorrem durante a vida útil das argamassas, resultando da exposição ao meio em que se inserem, podem ser naturais, decorrentes da agressividade do meio, ou da acção humana, em função da manutenção inadequada ou realização incorrecta, danificando as camadas e desencadeando um processo patológico.

Acidentais – São caracterizadas pela ocorrência de algum fenómeno atípico, resultado de uma solicitação anormal, como a acção da chuva com ventos de intensidade superior ao normal, abatimentos, até mesmo incêndio. A sua acção pode provocar esforços de natureza imprevisível, especialmente na camada de base destas argamassas, provocando movimentações que irão desencadear anomalias [71].

Outra classificação vulgarmente utilizada neste sector, e mais ampla, é a abordagem das causas das patologias do ponto de vista do material. Segundo esta classificação as patologias classificam-se em exógenas, quando as causas são externas ao produto, e em endógenas, quando têm origem no próprio produto.

Apesar da diversidade de materiais e sistemas em que as argamassas estão envolvidas são, sem dúvida, as argamassas de revestimento (rebocos) e os cimentos-cola, responsáveis pela fixação do revestimento cerâmico ao suporte, que maior número de patologias correntes, sistemáticas e recorrentes, apresentam.

7.2 Caracterização das patologias mais relevantes

A fachada, sendo um elemento integrante do invólucro exterior do edifício, desempenha um papel importante ao nível da concepção arquitectónica, valorizando o espaço envolvente [72,73]. A sua constante exposição às acções climáticas, nomeadamente a alternância de humedificações e secagens e o efeito nefasto da poluição atmosférica, origina uma deterioração acelerada dos elementos de revestimento, cujos efeitos podem ser:

- Problemas de disfuncionalidades no interior do espaço habitado, associados, na sua maioria, a infiltrações de água;
- Problemas de segurança para os utentes ou transeuntes, relacionados com a probabilidade de queda de elementos de revestimento (placas de pedra ou ladrilhos cerâmicos);
- Desvalorização estética do edifício e do espaço envolvente, influenciando negativamente o bem-estar dos utentes e o valor patrimonial [73].

Os revestimentos exteriores, embora apresentem diferentes comportamentos em serviço, devem cumprir determinadas exigências durante a vida útil dos edifícios, nomeadamente a protecção dos paramentos verticais às acções dos diversos agentes agressivos, resistindo eles próprios a esses agentes; a estanquicidade do conjunto revestimento+paramento à água; a planeza, verticalidade e regularidade superficial dos paramentos; o efeito decorativo e o estado de limpeza [74].

Nas tabelas 24, 25 e 26, são apresentadas as patologias mais relevantes para os revestimentos de reboco, cerâmico e pedra, onde as argamassas industriais são mais utilizadas. Este levantamento foi elaborado, recorrendo a diversa bibliografia técnica [23,75-80].

Tabela 24: Patologias e causas possíveis em rebocos industriais

Sintomas	Causas	Observações
Fissuração generalizada, sem orientação preferencial e de pequena largura (mapeada)	Retração de secagem inicial (menor retração e maior deformabilidade do que os rebocos tradicionais)	
	Erros na execução / aplicação	Aplicação em condições muito secas (calor, ventos seco, suporte muito absorvente) sem preocupações.
		Deficiente cura
		Adição de ligante
		Aplicação em camadas de espessura exagerada
		Excesso de água na amassura
Fissuração com orientação horizontal, nas zonas de assentamento	Expansão da argamassa das juntas de assentamento, pela acção dos sulfatos contidos nos tijolos, blocos ou nas argamassa ou introduzidas pela água	
Fissuração de traçado contínuo ao longo das junções de materiais de suporte diferentes	Variações dimensionais diferenciais desses materiais	
Fissuração diagonal a partir dos cantos de vão abertos	Enfraquecimento do suporte nessa zona	
	Deformação dos panos de parede	Insuficiente entrega das vergas existentes
		Inexistência de vergas
Empolamento com formação de bolhas e perda de aderência	Má qualidade do revestimento	Preparação incorrecta do produto/ adições ao produto
		Amassado com excesso de água
		Reamassado do produto parcialmente endurecido
	Aplicação sobre um suporte inadequado ou mal preparado	Com resíduos
		Muito quente, com humidade insuficiente ou saturado de água
Manchas esbranquiçadas	Carbonatações – aplicação em condições atmosféricas inadequadas	Tempo frio e húmido (com libertação da cal durante a presa de cimento)
	Eflorescências – cristalização à superfície de sais solúveis	Sais contidos nos materiais da parede, na argamassa ou no terreno e transportados pela água de infiltração
Sombreamentos ou transparências seguindo as juntas do suporte sobre o que está aplicado	Espessuras de revestimento muito reduzidas e juntas de alvenaria mal executadas ou com maior permeabilidade	
Diferenças de tonalidade	Diferentes condições de secagem	Grandes variações de temperatura e humidade durante a aplicação
	Variações na preparação do revestimento	Quantidade de água
		Método ou tempo de amassadura
	Variações na realização do acabamento	
Fungos e bolores (manchas)	Perda da eficácia dos adjuvantes fungicidas e bactericidas	
	Dosagens pequenas de adjuvantes	Preço
		Toxicidade
	Fachada com fraca exposição ao sol e sujeita a humedecimento	

Tabela 25: Patologias e causas possíveis em revestimento cerâmico

Sintomas	Causas	Observações
Perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em áreas extensas, precedido de empolamento	Retração nas camadas subjacentes e elevadas tensões de corte que se geram consequentemente nos planos de colagem	
	Pressão de vapor de água	
	Expansão de ladrilhos	
Perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em correspondência com zona de grande probabilidade de concentração de cargas	Movimentos significativos no suporte, com argamassas de módulo de elasticidade superior ao dos ajulejos	
Com iminência de desprendimentos em todo o paramento	Produto de assentamento ineficaz	Deficiente qualidade, incompatível com o suporte ou com as condições de utilização do revestimento
	Inobservância dos cuidados de preparação	Insuficiente resistência mecânica
	Cura deficiente do produto de assentamento	
Desprendimento de peças isoladas ou pequenas áreas	Penetração frequente de água	Falta de estanquicidade das juntas
	Fluxo à superfície do paramento de sais (eflorescências)	Sais solúveis existentes na cerâmica juntamente com humidade absorvida no ar
	Quantidade insuficiente ou aplicação deficiente deste produto	
Fissuração fina, sem orientação, distribuída pela generalidade do paramento revestido	Movimentos diferenciais dos ladrilhos e do produto de assentamento	Retração de secagem inicial do produto de assentamento
		Alterações do teor de água
		Variações de temperatura
Fissuração de largura significativa e com orientação bem definida	Rotura do suporte	Movimentos do suporte ou que lhe foram transmitidos pela estrutura
	Ausência de certas disposições construtivas	Incorrecto dimensionamento de juntas entre peças Ausência de esquadramento dos revestimentos em painéis com dimensões limitadas

Tabela 26: Patologias e causas possíveis em revestimento de pedra

Sintomas	Causas	Observações
Elemento de pedra manchado	Eflorescências ou criptoflorescências	Agentes químicos dos materiais do solo + acção da água
	Manchas provenientes da humidade	Humidades ascendentes do solo Deficiente ventilação no tardo da pedra
	Manchas provenientes do material de fixação do elemento	Argamassas de fixação inadequadas Oxidação dos elementos de fixação
	Manchas de coloração cinzenta negra (película fina de 0.5 a 2.3 mm)	Poluição atmosférica, ciclos de secagem/molhagem e ausência de limpeza
Aspecto da superfície revestida no seu conjunto não aceitável	Falta de homogeneidade do elemento de pedra	Diferente cor, textura, acabamento e características geométricas dos elementos de pedra
falta de planimetria da superfície	Má execução dos trabalhos	
Falta de linearidade das juntas entre elementos de pedra	Desgaste por ataque físico, químico e biológico	Escolha adequada das argamassas / vedantes face ao tipo e dimensões dos elementos, acabamentos de superfície, exposição aos agentes atmosféricos e largura da junta
Diversos sintomas (descasque, descoloração, manchas, etc.)	Inadequação ao processo construtivo, suporte, solicitações, condições ambientais e utilização	Má escolha do tipo de pedra e suas características geométricas (fase de concepção)
	Deficiente utilização	Deficiente processo de limpeza e de manutenção
Material de refechamento das juntas degradado	Má concepção do revestimento	
	Má qualidade do material de refechamento	
	Deficiente aplicação do material de refechamento	
Escorridos de cal nas juntas das pedras	Infiltrações de água	
Escamas, esfoliação e pústulas no elemento de pedra	Estado avançado e consequência das retiradas das crostas negras	Poluição atmosférica, ciclos de secagem / molhagem
Fissuração	Deformação do suporte	Por flexão, retracção, dilatação e/ou assentamento
	Fraccionamento do suporte em juntas	Em juntas periféricas, de rotura ou entre os elementos de pedra
	Má colocação em obra	Orientação incorrecta do elemento in loco em relação à estrutura observada na pedreira
Descaimento	Rotura do elemento pedra	Incumprimento das espessuras mínimas de acordo com o tipo de pedra e importância das solicitações
	Rotura da cola / argamassa de selagem	Tipo inadequado para as dimensões dos elementos de pedra, a natureza do suporte e ou a humidade do paramento
	Rotura dos elementos metálicos de fixação / estrutura intermédia de suporte	Resistência ao peso próprio dos elementos, solicitações, horizontais, deformações diferenciais e risco de corrosão
	Suporte por deficiência na resistência	Resistência mecânica ou ataque físico, químico e biológico
Descolamento	Deformação do suporte	Por flexão, retracção, dilatação e/ou assentamento
	Fraccionamento do suporte em juntas	Em juntas periféricas, de rotura ou entre os elementos de pedra
	Aderência por colagem e selagem com argamassa	
	Deformação do material por empolamento do material pedra	

De forma a poderem ser visualizadas de melhor forma, algumas das patologias acima descritas apresentam-se nas Figuras 25 a 30.



Figura 25: Fissuração generalizada, sem orientação



Figura 26: Sombreamentos ou transparências



a)



b)

Figura 27: Manchas esbranquiçadas: a) Eflorescências; b) Carbonatações

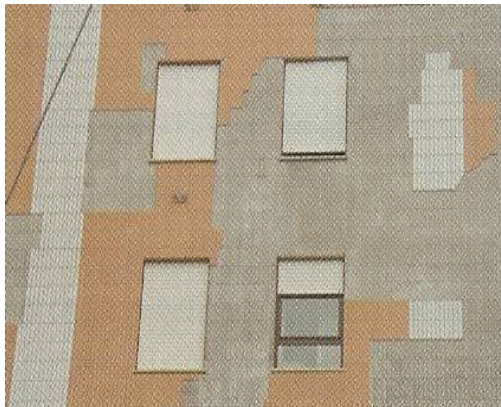


Figura 28: Descolamento com áreas extensas

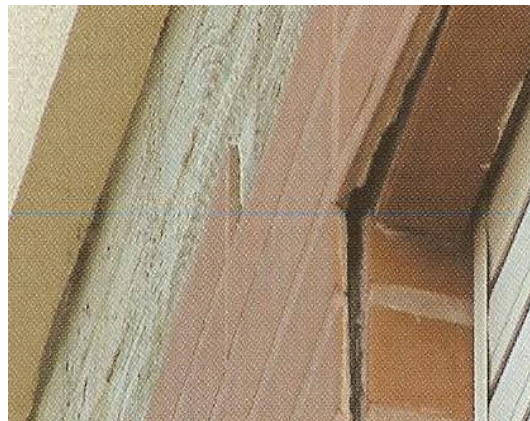


Figura 29: Descolamento com empolamento

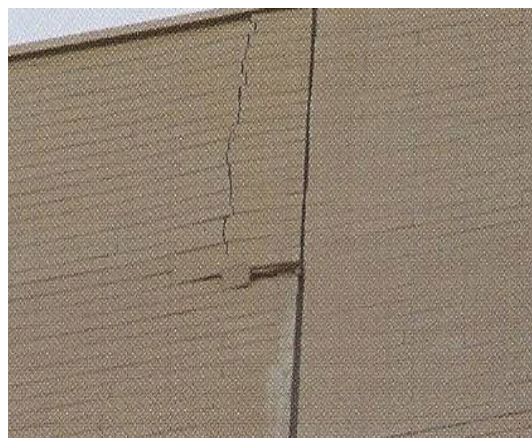


Figura 30: Junta de dilatação estrutural não eficaz para o revestimento

São apresentadas, na tabela 27, algumas medidas comuns na resolução das patologias. Estas medidas variam consoante o tipo de revestimento e o seu estado de degradação.

Tabela 27: Técnica de tratamento de patologias em revestimento

Patologia	Revestimentos	Técnicas
Fissuração	Reboco	Fissuras finas – aplicação de revestimento aditivado com resinas
		Reparação de fissuras através da colocação de uma rede de fibra
		Fissuras médias – alegamento e preenchimento com o mesmo produto com o mesmo produto (armado ou não)
	Cerâmico	Injecção de resina nas fissuras, com tapamento das juntas. Protecção com hidrófugo.
		Substituição dos elementos fissurados por outros novos, com a utilização de produtos elásticos no assentamento destes e no refechamento de juntas.
	Pedra natural	Substituição de placas de pedra danificadas.
Perda de aderência / Destacamentos	Reboco	Picagem até ao tosco com aplicação de novo revestimento do mesmo tipo
	Cerâmico	Extracção da totalidade dos elementos, com substituição dos partidos. Utilização de produto de assentamento de melhor qualidade ou mais adequado.
	Pedra natural	Abertura de furos no elemento de pedra e injecção de resina entre o suporte e o tardo da pedra.
		Reposição do material com colagem dos elementos em falta ou efectuando empalmes e emendas.
		Reposição com utilização de massas especiais à base de epoxy e pó de pedra
Degradação do aspecto	Reboco	Pintura ou revestimento delgado de novas camadas de produto hidrófugo
		Eflorescências – escovagem a seco das manchas esbranquiçadas, após secagem do revestimento
	Pedra natural	Operações de limpeza

7.3 Aspectos de obra – Casos de estudo

Nesta secção discutem-se três estudos de caso directamente associados a aspectos de obra de patologias de argamassas de revestimento (rebocos). Os casos apresentados assumem alguma expressão dentro das patologias dos rebocos industriais, argamassas com maior produção e vendas em Portugal devendo, por isso, ser objecto de alerta. Apresenta-se ainda, no último caso, uma tentativa de correlação entre dois métodos de avaliação de trabalhabilidade, para melhor compreender esta propriedade fundamental na aplicação de argamassas e susceptível, ela própria, de conduzir ao aparecimento de patologias.

7.3.1 Efeitos da adição de cimento numa argamassa industrial

7.3.1.1. Enquadramento

Com a crescente utilização das argamassas secas surgem patologias específicas, entre elas a adição de produtos à mistura inicial, com o objectivo de alterar o seu comportamento.

A adição de mais cimento às argamassas industriais, a que os utilizadores finais recorrem para lhes diminuir o tempo de presa ou torná-las mais “ricas”, na esperança de lhes aumentar a resistência e melhorar a construção, são conceitos errados, frequentemente aplicados em obras de construção habitacional.

Como já foi referido, uma das principais preocupações da formulação de argamassas industriais, é a de que estas sejam capazes, entre outras características, de controlar fissurações aleatórias que se formam sob efeito da retracção.

O controlo do tempo de presa, por exemplo, em função das características destas argamassas, permite ajustar os fenómenos de retracção característicos das argamassas hidráulicas e minimizar os efeitos responsáveis por anomalias de fissuração aleatória.

O tempo de presa representa um parâmetro importante, pois corresponde ao intervalo de tempo durante o qual a argamassa começa a endurecer, adquirindo propriedades

mecânicas, inexistentes até aí. É por isso considerado um factor determinante na execução das diferentes fases de aplicação de um reboco.

O tempo de presa depende directamente da humidade relativa e da temperatura do ar atmosférico, dada a sua componente hidráulica. Assim, é de esperar que durante períodos com elevados teores de humidade relativa e baixas temperaturas do ar atmosférico, o tempo de presa se alargue para valores acima do normal. Se nas argamassas tradicionais fabricadas em estaleiro este alargamento não é tão visível, uma vez que habitualmente estas apresentam um excesso de ligante hidráulico na sua formulação, nas argamassas industriais ele pode ser evidente, dada a introdução de retentores de água na mistura, para promover um prolongamento do tempo de presa, obtendo-se, assim, uma menor perda de água por evaporação.

No entanto, a adição propositada de cimento a rebocos prontos, baseados em ligantes de cal hidráulica ou mistos, não se reduz à necessidade de diminuir o tempo de presa do reboco sendo frequente, principalmente em obras de construção habitacional, a adição de mais ligante hidráulico à mistura inicial, com o objectivo de aumentar a sua resistência e melhorar o comportamento na construção. Na verdade, este tipo de acção pode ser perigosa, uma vez que pode provocar efeitos adversos noutras características, como a retracção, cujo controlo é já efectuado nas formulações das argamassas prontas industriais, através da adição de adjuvantes adequados. A fissuração é, sem dúvida, uma das patologias que mais desconforto e prejuízo pode causar aos utilizadores, pois nem sempre são conhecidas as suas consequências na durabilidade do reboco em causa.

Neste estudo de caso, pretende-se demonstrar as manifestações da patologia causada pela adição de cimento a um reboco industrial, através da caracterização dos fenómenos de retracção ocorridos e respectiva tipologia da fissuração. Nesse sentido, estudaram-se os tipos de fissuração ocorridos com a adição de 5% e 10% de cimento a uma argamassa seca industrial.

7.3.1.2. Procedimento experimental

De modo a estudar a influência da adição de cimento num reboco industrial, procedeu-se à formulação de argamassas, introduzindo-se 5 e 10% de cimento Portland (CEMII/B-L 32.5N) à mistura inicial. O comportamento destas argamassas é comparado com o da argamassa inicial, tomada como padrão. O ligante do reboco em estudo é misto,

contendo cal hidráulica e um pequeno teor de cimento, do mesmo tipo, numa proporção aproximada de 1:4.

Neste contexto, a presença de cimento, para além dos valores normais contidos na formulação inicial da argamassa, será avaliada através dos resultados obtidos em medidas de retracção e em ensaios de parede onde foram aplicadas as argamassas desenvolvidas. A determinação da retracção das argamassas foi feita conforme a metodologia preconizada na prEN 1015-13 [81] com uma amostra padrão (AP), recolhida em embalagem comercial da mesma variedade de argamassa hidráulica seca usada nas amostras com adição de cimento (AC5 e AC10, contendo, respectivamente, adições de 5 e 10% de cimento).

Paralelamente, todos estes rebocos foram projectados em parede de alvenaria (ensaio de parede), garantindo as boas práticas de aplicação, para uma análise macroscópica posterior das anomalias desenvolvidas.

7.3.1.3. Resultados e discussão

Caracterização da patologia

O primeiro tipo de retracção é a retracção plástica ou retracção inicial, pois inicia-se assim que a argamassa é aplicada, e está associada à perda de água, devida à secagem atmosférica e à absorção de água pelo próprio suporte. A velocidade a que ocorre a perda de água por secagem depende muito das condições atmosféricas locais: grau de agitação, humidade relativa e temperatura do ar.

A retracção plástica depende da tensão capilar na água da mistura presente na pasta fresca. No entanto, a retracção pode não ser proporcional apenas à tensão capilar, existindo outras propriedades, como a resistência mecânica e a aderência de que aquela também depende [7,82].

A outra fase da retracção é a designada retracção por secagem, que acontece durante as primeiras horas após a aplicação e em que poderá ocorrer a formação de fissuras.

Com a adição de ligante hidráulico à mistura inicial, aumenta-se a tensão capilar e, consequentemente, a retracção (deformação). O aumento da resistência tende a diminuir a retracção, embora aumente as tensões provocadas por retracção provocando a fissuração macroscópica. As fissuras de retracção por secagem dos revestimentos podem acentuar-se com o tempo e manifestarem-se de forma mais visível por uma configuração

unidireccional regularmente espaçada, nomeadamente, em áreas com dimensões desproporcionadas entre comprimento e largura [7,82].

A determinação de retracção das amostras em estudo resultou nos valores apresentados na Tabela 28. É possível verificar que a retracção em idades jovens é bastante maior nas amostras contendo adições de cimento Portland, representando um aumento de 3 vezes para a amostra com 5% de cimento e 6 vezes para a amostra contendo 10%, relativamente à amostra padrão.

Tabela 28: Determinação da retracção das amostras.

Amostra	Retracção (mm/m)		
	7 dias	14 dias	28 dias
AP	0,006	0,626	0,751
AC5	0,019	0,616	0,788
AC10	0,038	0,678	0,856

São estas elevadas retracções iniciais as principais responsáveis pelas consequências macroscópicas da patologia caracterizada pela fissuração do reboco.

As fissuras provocadas pelo aumento da retracção podem aparecer logo após o acabamento do reboco, ou mesmo durante a fase de desempenho. Podem ser ou não de tipo aleatório, visíveis ou não visíveis (microfissuras), podendo atingir toda a espessura do reboco.

Uma observação no local da aplicação destas argamassas, contendo as adições definidas, permitiu assistir a uma tipologia de fissuração diferente para cada uma das amostras. Assim, verificou-se que a amostra contendo menor adição de cimento (5%) sofre fissuração aleatória, caracterizada por muitas pequenas fissuras sem qualquer tipo de orientação (Figura 31). Por outro lado, constatou-se que a amostra sem adições de cimento não apresentou qualquer tipo de fissuração.



Figura 31: Aspecto da patologia na argamassa com adição de 5% de cimento.

A amostra AC10 (Figura 32) apresentou, contudo, fissuras orientadas, mais largas (cerca de 3 mm de largura) e em número mais reduzido que as observadas na amostra AC5. A largura das fissuras é maior na superfície, diminuindo com a profundidade, em forma de cunha.



Figura 32: Aspectos da patologia na argamassa com adição de 10% de cimento.

Neste caso de estudo, a fissuração provocada por excesso de cimento na formulação prende-se essencialmente com os mecanismos da retracção por secagem, pois sucedem nas primeiras horas após a aplicação na parede.

Tratamento da patologia

O tratamento da patologia pode ser efectuado a dois níveis, resultando essencialmente da análise da extensão e gravidade anomalia.

Num primeiro nível, em rebocos que se apresentam suficientemente endurecidos e aderentes, podem-se efectuar intervenções de carácter curativo, eliminando visualmente a patologia, isto é, pode ser aplicada uma argamassa de reparação de rebocos, que terá de ser hidrófugada no caso de se tratar de superfícies exteriores. A aplicação desta argamassa deverá ser efectuada em camadas finas (2 a 3 mm). Em situações de reparação de rebocos significativamente fissurados, será necessário proceder ao reforço da primeira camada com rede de fibra de vidro, com tratamento anti-alkalino e com secção e passo de malha adequados. Em arestas, particularmente em cunhais dos edifícios e ombreiras de vãos, é aconselhado o reforço das áreas de rede, de forma a compensar as tensões presentes nestas áreas pontuais das fachadas [83,84,85].

Em situações mais graves, onde a reparação do reboco não é eficaz, o tratamento pressupõe a remoção do reboco nas secções onde existiu a adição do cimento e a sua

reposição com uma argamassa isenta de contaminações e adições, aditivada com resinas acrílicas para promoção da aderência ao suporte e a áreas adjacentes.

7.3.2 Efeitos da adição de gesso em argamassas industriais

7.3.2.1. Enquadramento

O estudo de caso apresentado, resulta de um processo de reclamação típica de um utilizador de argamassas secas e consequente aconselhamento integrado, da aplicação de reboco em edifício habitacional novo.

O gesso de construção é habitualmente introduzido nas argamassas secas como acelerador de presa das argamassas, especialmente em tempo frio originando patologias significativas quando em aplicações exteriores.

Com o objectivo de contrariar o prolongamento do tempo de presa da argamassa, provocado pela introdução de retentores de água – habitualmente ésteres de metilcelulose (ver 4.3.1.1), os aplicadores recorrem com alguma facilidade a um produto de presa rápida e vulgarmente abundante em qualquer obra habitacional: o gesso. Tradicionalmente, os aplicadores conhecem a existência de incompatibilidades entre gesso e as argamassas de cimento Portland. Em face desse conhecimento, procedem, por exemplo, ao estanhamento de superfícies interiores com argamassas de gesso só após estar assegurada a secagem da subcamada, composta por um reboco hidráulico.

No exterior, a técnica é diferente e diga-se que bem mais apurada. Face ao desempenho mais fraco dos ligantes aéreos na presença de água, a aplicação de argamassas contaminadas com gesso é efectuada, em obra, em duas camadas: a camada interna, contendo o contaminante na sua composição e a camada externa, executada com argamassas exclusivamente hidráulicas. Desta forma, pretende-se que a camada externa, eficientemente hidrófugada, assegure a protecção contra humidades de precipitação sobre a fachada.

Outra aplicação, onde o gesso apresenta um papel importante como contaminante, relaciona-se com a aplicação de perfis em arestas de panos de fachada. No sentido de se assegurar celeridade na operação, estes perfis são muitas vezes aplicados com recurso a

argamassas de gesso ou argamassas hidráulicas com adição deste ligante aéreo (Figura 33).

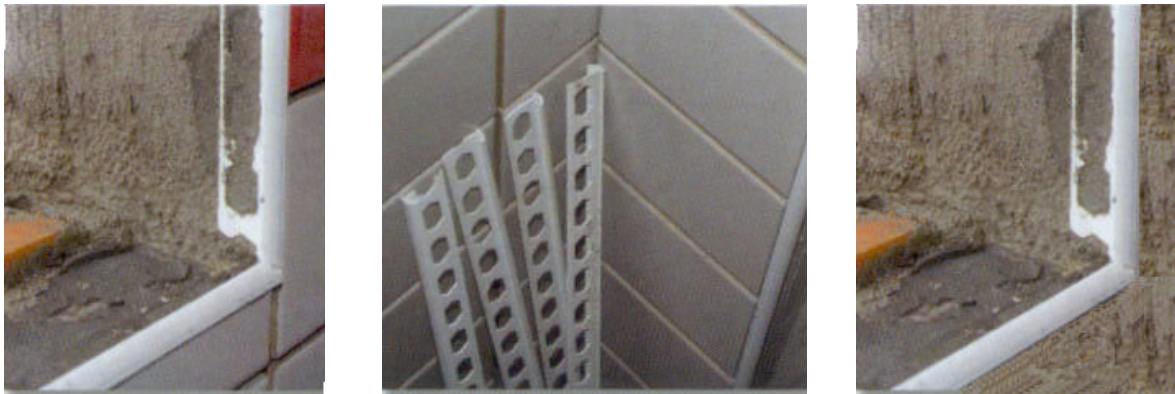


Figura 33: Exemplos da aplicação de arestas

7.3.2.2. Procedimento experimental

A presença de gesso, como contaminante de argamassas hidráulicas, é determinada através da avaliação dos sulfatos presentes em amostras afectadas por anomalias e, fundamentalmente, pelo elevado teor destes devido ao sulfato de cálcio presente no gesso.

Deste modo, de forma a estudar as manifestações patológicas da argamassa aplicada, procedeu-se à recolha de amostras de:

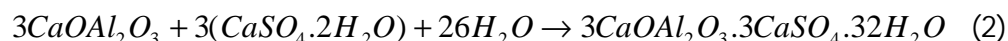
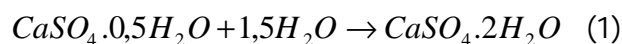
- Camadas interna e externa do reboco (CI e CE), obtidas em obra;
- Amostras padrão, constituídas por produto em pó (PP) e hidratado (PH), recolhidas em embalagem comercial da mesma marca e variedade, da argamassa hidráulica seca usada na execução do reboco afectado;
- Amostras de uma argamassa de gesso projectável (G).

Determinou-se a presença de contaminantes através de uma dosagem gravimétrica de sulfatos, conforme metodologia preconizada na NP EN 196-2 [86] e através da análise mineralógica qualitativa por difracção de raios-X.

7.3.2.3. Resultados e discussão

Caracterização da patologia

Na presença da água, o cimento Portland e o gesso reagem, produzindo compostos expansivos, como o trissulfato-aluminato de cálcio [87] também denominado de ettringite, correspondentes às reacções (1) e (2):



São estas as reacções responsáveis pelo aspecto macroscópico da patologia, caracterizada pela fissuração do reboco, com projecção da superfície, sob um aspecto tipo “côdea de broa”. Em alguns casos, mais graves, as queixas são muitas vezes apresentadas como “efervescência” do reboco, a que de facto a patologia se assemelha (Figura 34).



Figura 34: Aspecto da patologia

Uma observação mais pormenorizada permite observar – na maior parte dos casos – a definição de duas camadas distintas e destacadas entre elas. A primeira camada, a interna, com aspecto muito idêntico ao resultado das argamassas hidráulicas amolentadas, apresenta-se moldável, de aspecto desagregado e de tonalidade mais clara. A expansão resultante dos compostos formados na reacção foi suficientemente significativa para destruir as ligações hidráulicas existentes. A segunda camada, a externa, endurecida e sem patologias observáveis.

Da leitura da tabela 29, é possível verificar as quantidades de contaminante introduzido na argamassa (inferior a 5%). Ao mesmo tempo, a migração de sulfatos para a camada externa do reboco (acréscimo em cerca de 3%) indicia que a água de infiltração, que promoveu a reacção, teve origem no suporte. Complementarmente, procedeu-se à determinação da perda ao fogo das diferentes amostras em análise, os valores são apresentados na tabela 28.

Tabela 29: Teor de sulfatos e perda ao fogo das amostras

Amostra	Anidrido Sulfúrico (%)	Perda ao Fogo (%)
PP	0.51	3.16
PH	0.44	6.86
CI	4.72	9.59
CE	3.37	9.43
G	50.44	10.67

Não obstante da indicação clara de presença do contaminante nas amostras de reboco recolhidas, procedeu-se à sujeição de quantidades das mesmas à análise mineralógica qualitativa por difracção de Raio X.

A difracção de raios X (DRX) é uma técnica que só por si fornece informações mais amplas quanto à qualificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes num material. Além disso, esta, é uma técnica de análise não destrutiva, rápida e muito versátil, tendo apenas o obstáculo de não se poder aplicar a materiais não cristalinos ou com cristalinidade incipiente.

Nas figuras 35 a 37 são apresentadas as caracterizações mineralógicas das amostras do produto em pó (PP), da camada interna (CI) e da camada externa (CE) de argamassa, respectivamente.

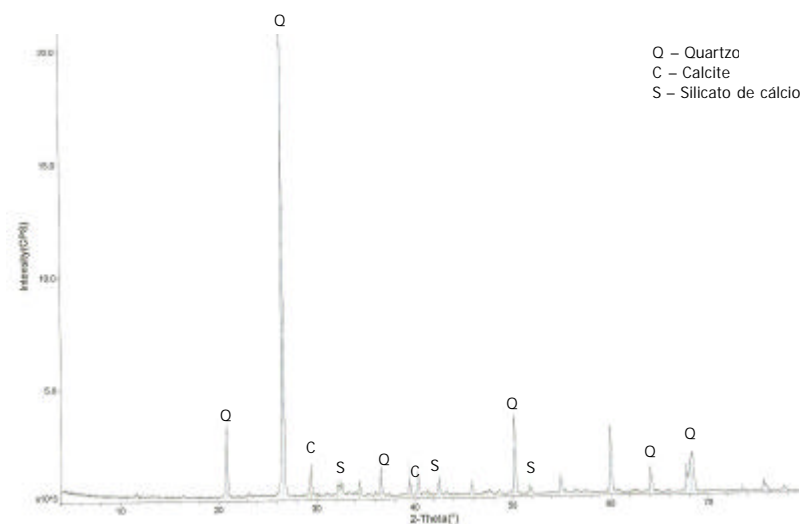


Figura 35: Difractograma de raio-X: amostra do produto em pó (PP)

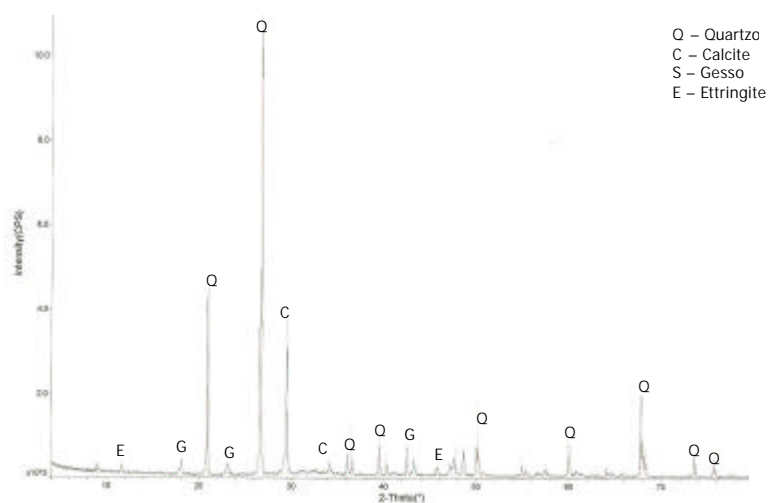


Figura 36: Difractograma de raio-X: amostra da camada interna (CI)

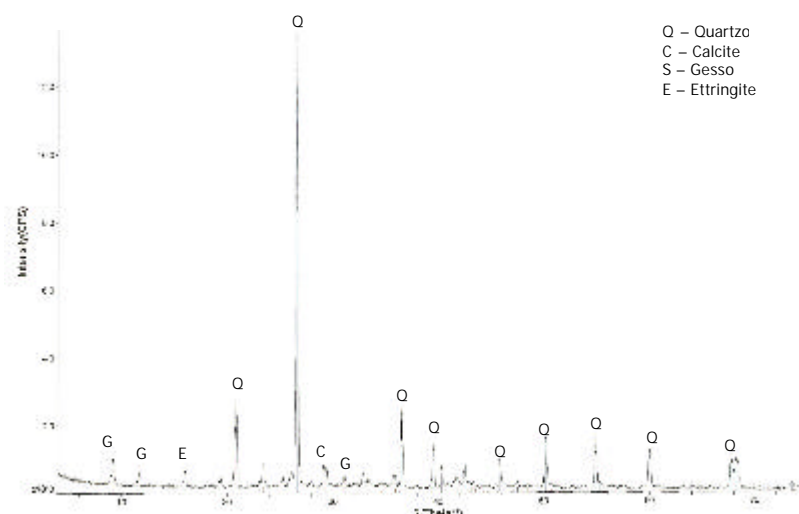


Figura 37: Difractograma de raio-X: amostra da camada externa (CE)

Da realização deste ensaio foi possível identificar claramente a presença do gesso e de compostos expansivos nas amostras da argamassa com suspeita de aditivação (CE e CI). Note-se que o produto em pó (PP) da argamassa industrial comercializada não apresenta gesso na sua formulação original.

Tratamento da patologia

A reabilitação das áreas de reboco afectadas pela patologia pressupõe, sempre, a remoção das secções contaminadas e a reposição de revestimentos. Contudo, pode proceder-se a intervenções paliativas que, não extinguindo a deficiência, poderão assegurar um desempenho eficaz do reboco e por um tempo de vida útil adequado, sem que se manifestem as consequências macroscópicas da patologia. Neste caso, a metodologia a adoptar deve tomar em conta a extensão e profundidade das mesmas. Em todo o caso, deve sempre proceder-se à identificação da origem das águas de infiltração para sua extinção. Correntemente, as áreas afectadas são objecto de remoção dos rebocos de aspecto desagregado, sendo os mesmos, posteriormente, repostos com argamassas de características idênticas, aditivadas com resinas acrílicas para promoção da aderência ao suporte e a áreas adjacentes.

7.3.3 Efeito da água em excesso e correlação de dois métodos de consistência

7.3.3.1. Enquadramento

A consistência e a plasticidade são factores condicionantes da trabalhabilidade das argamassas, que permitem conferir a aderência da argamassa ao suporte e, no caso das argamassas de revestimento, possibilitar ainda, o acabamento superficial pretendido.

A consistência e a plasticidade podem alterar-se completamente em função do teor de água numa argamassa. Esta relação é, também, um factor determinante na resistência mecânica, pois com o aumento excessivo de água compromete-se a resistência da argamassa, colocando em causa o seu desempenho, nomeadamente, no que diz respeito à aderência, estanquidade e durabilidade. Por estas razões, a quantidade de água a adicionar à argamassa seca deverá ser sempre a indicada pelo fabricante.

Contudo, a água de amassadura nem sempre é vista como um constituinte da argamassa e, por esta razão, assiste-se em muitas obras à utilização desta em excesso. As razões que levam aos utilizadores/aplicadores a não cumprirem as indicações dos fabricantes são variadas, desde da falta de rigor e desconhecimento das suas consequências, à rentabilização da operação de execução das argamassas (executam maior quantidade de argamassa e garantem maior tempo de aplicação) ou ainda, em alguns casos, para facilitar a aplicação (projectão).

Deste modo, torna-se fundamental proceder a um controlo da consistência da argamassa em obra, através de um método expedito, para que o utilizador consiga controlar a consistência óptima da argamassa, de acordo com as indicações do fornecedor, sem comprometer a resistência mecânica e aderência.

Neste estudo, pretende-se ainda correlacionar um método expedito de medida da consistência em obra, de acordo com a norma EN 1015-4:1998, estabelecendo uma relação com os resultados obtidos em laboratório, determinados pela EN 1015-3:1999.

7.3.3.2. Procedimento experimental

Este trabalho consistiu na selecção de dois tipos de argamassas: uma argamassa (argamassa 1) de revestimento de reboco em que a sua formulação é caracterizada pela presença significativa de adjuvantes, nomeadamente, retentor de água, introdutor de ar e hidrófugo, com uma percentagem de adjuvantes de 1,12% do teor total de ligantes. A outra argamassa (argamassa 2), também de revestimento de reboco, contém apenas retentor de água e hidrófugo, numa percentagem de adjuvantes de 0,61% do teor total de ligantes. Este estudo envolveu:

- a correlação de dois métodos de consistência devidamente normalizados nas duas argamassas distintas;
- o efeito da percentagem de água de amassadura (indicada pelo fabricante e com um acréscimo de água de 4%), em propriedades como a resistência mecânica à compressão e a absorção por capilaridade.
- o efeito do tempo de espera, entre a execução do reboco e a sua aplicação e as suas consequências ao nível da resistência mecânica à compressão e capilaridade.

Deste modo, foi elaborado um plano de ensaios para as duas argamassas seleccionadas, de acordo com as tabelas 30 e 31.

Tabela 30: Descrição do plano de ensaios - Argamassa 1

AMOSTRA	DESCRIÇÃO DO PRODUTO E ENSAIOS
A	% de água conforme indicação do fabricante (16%) <ul style="list-style-type: none"> • Espalhamento e penetração, logo após a mistura (t_0); • Espalhamento e penetração de hora a hora durante 3 horas (t_1, t_2, t_3); • Provetes para determinação da resistência e capilaridade ao fim de 0 e 3 horas.
B	Aumento de 4% de água (20%) <ul style="list-style-type: none"> • Espalhamento e penetração, logo após a mistura (t_0); • Espalhamento e penetração de hora a hora durante 3 horas (t_1, t_2, t_3); • Provetes para determinação da resistência e capilaridade ao fim de 0 e 3 horas.

Tabela 31: Descrição do plano de ensaios – Argamassa 2

AMOSTRA	DESCRIÇÃO DO PRODUTO E ENSAIOS
C	% de água conforme indicação do fabricante (16%) <ul style="list-style-type: none"> • Espalhamento e penetração, logo após a mistura (t_0); • Espalhamento e penetração de hora a hora durante 3 horas (t_1, t_2, t_3); • Provetes para determinação da resistência e capilaridade ao fim de 0 e 3 horas.
D	Aumento de 4% de água (20%) <ul style="list-style-type: none"> • Espalhamento e penetração, logo após a mistura (t_0); • Espalhamento e penetração de hora a hora durante 3 horas (t_1, t_2, t_3); • Provetes para determinação da resistência e capilaridade ao fim de 0 e 3 horas.

Em conformidade com os planos acima descritos, prepararam-se as amostras (Figura 38) e efectuaram-se os ensaios de consistência às amostras A, B, C e D, de acordo com as normas EN 1015-3: 1999, *Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*, seguidamente denominado por método do espalhamento e pela norma EN 1015-4: 1998, *Determination of consistence of fresh mortar (by plunger penetration)* [48], figuras 39 e 40. Foram ainda realizados provetes, das mesmas amostras, para a determinação da resistência mecânica à compressão, de acordo com a EN 1015-11; capilaridade, segundo com a EN 1015-18 e massa volúmica, segundo a EN 1015-10 para os dois tempos (0 e 3 horas).



Figura 38: Preparação das amostra: pesagem e mistura das argamassas



Figura 39: Determinação da consistência pelo método da mesa de espalhamento



Figura 40: Determinação da consistência pelo método do punção de penetração

7.3.3.3. Resultados e discussão

Correlação dos métodos de consistência

Os resultados obtidos na determinação da consistência pelos dois métodos atrás referidos, nas amostras A, B, C e D, são apresentados na Tabela 32, de acordo com as normas acima referidas.

Tabela 32: Resultados da consistência – Espalhamento vs Penetração

Amostra	Mesa de Espalhamento			Penetração			
A	mm	Média		mm	Diferença	Tempo (h)	
	150	150	150	119	132	13	0
	136	137	137	123	134	11	1
	130	131	131	121	131	10	2
	112	111	112	123	129	6	3

Amostra	Mesa de Espalhamento			Penetração			
B	mm	Média		mm	Diferença	Tempo (h)	
	183	179	181	119	138	19	0
	178	178	178	119	137	18	1
	174	177	176	123	141	18	2
	176	176	176	123	141	18	3

Amostra	Mesa de Espalhamento			Penetração			
C	mm	Média		mm	Diferença	Tempo (h)	
	154	153	154	119	127	8	0
	148	146	147	121	128	7	1
	135	138	137	120	124	4	2
	116	116	116	120	120	0	3

Amostra	Mesa de Espalhamento			Penetração			
D	mm	Média		mm	Diferença	Tempo (h)	
	200	200	200	118	139	21	0
	207	207	207	121	143	22	1
	207	203	205	119	141	22	2
	180	180	180	150	135	15	3

Da análise efectuada aos resultados obtidos, verifica-se que existe uma correlação linear entre o método de espalhamento e o método de penetração para o mesmo tipo de argamassas com diferentes teores de água. Assim, cada argamassa tem o seu comportamento característico que é representado de forma linear na Figura 41.

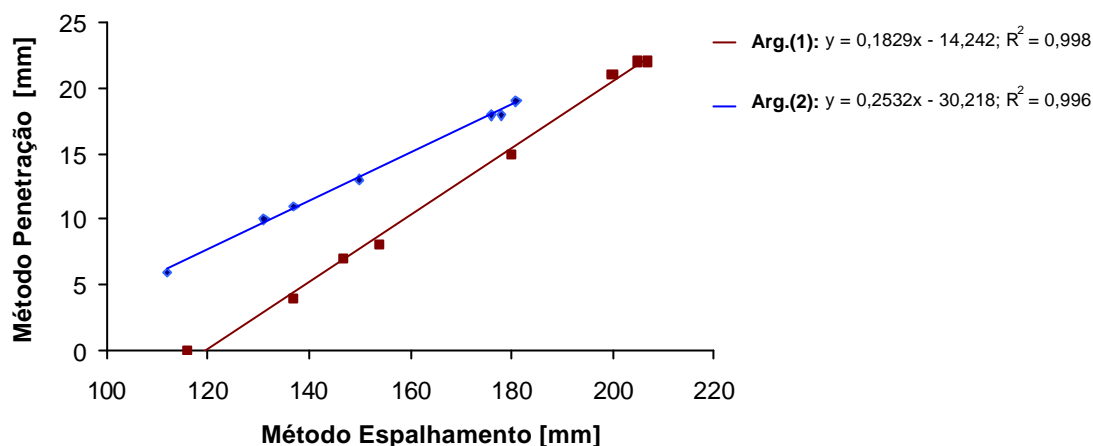


Figura 41: Correlação dos métodos de consistência nas argamassas (1) e (2)

Efeitos do excesso de água e do tempo de espera

Os efeitos do excesso de água e do tempo de espera, entre a execução do reboco e a sua aplicação são outros dos casos frequentes de alteração sobre as indicações fornecidas pelo produtor que podem resultar em problemas no produto final. Estes efeitos são apresentados pela análise das tabelas 33 e 34.

Tabela 33: Resistências à compressão das amostras

	Amostra	H ₂ O	t	Resistências Mecânicas	
				Compressão (MPa)	Compressão (MPa)
				7 Dias	28 Dias
Argamassa 1	A	16%	t ₃	2.9	7.7
		16%	t ₀	1.8	5.0
	B	20%	t ₃	1.6	4.7
		20%	t ₀	1.2	3.6
Argamassa 2	C	16%	t ₃	2.7	9.0
		16%	t ₀	2.0	7.8
	D	20%	t ₃	1.9	6.7
		20%	t ₀	1.9	6.4

Da tabela 33, pode-se constatar que o acréscimo de 4% de água, na argamassa 1 para t₀ (A para B), origina uma redução da resistência mecânica à compressão a 28 dias de 5 MPa para 3.6 MPa, correspondendo assim, a uma diminuição de 28% e, na argamassa 2, uma redução de 7.8 MPa para 6.4 MPa, que equivale a 17%.

Quando comparadas, as mesmas amostras para t₃, assiste-se a uma redução da resistência mecânica a 28 dias de 38% e nas amostras C e D a uma redução de 26%.

A tabela 34 mostra os valores da capilaridade e massa volúmica. Assim, na argamassa 1, verifica-se que a capilaridade média sofre um aumento de 52% (A para B no t_3), passando de 0.31 para 0.62 $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ com o aumento do teor de água de amassadura de 16% para 20%. O aumento do tempo de espera para a aplicação (0 para 3h) provoca também um aumento significativo do valor da capilaridade.

Na argamassa 2, a situação é análoga, passando de 0.32 para 0.68 $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, o que equivale a um aumento de 53% (C para D) com o aumento do teor de água de amassadura e, um aumento de 57% da capilaridade média nas mesmas amostras. No entanto, em relação ao efeito do tempo de espera para aplicação nota-se uma diferença de comportamento da argamassa 2 em relação à 1, sendo a variação da capilaridade muito menor.

Tabela 34: Capilaridade média e massa volúmica das amostras

	Amostra	H ₂ O	t	Capilaridade média ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)	Massa Volúmica (28 dias) (kg/m^3)
Argamassa 1	A	16%	t_3	0.31	1637
		16%	t_0	0.13	1387
	B	20%	t_3	0.64	1518
		20%	t_0	0.16	1301
Argamassa 2	C	16%	t_3	0.32	1763
		16%	t_0	0.27	1632
	D	20%	t_3	0.68	1679
		20%	t_0	0.63	1675

Estes resultados aqui apresentados para as argamassas 1 e 2 são justificáveis pelas variações da massa volúmica (Tabela 34). Na verdade, a formulação da argamassa 2 conduziu a menores variações na sua massa volúmica com o excesso de água mas, principalmente, com o tempo de espera para aplicação, pois trata-se de uma argamassa menos aditivada, ou melhor, não contém o introdutor de ar que contribui para a diminuição da massa volúmica observada na argamassa 1.

Deste estudo foi possível concluir que as práticas erradas ou pouco rigorosas na execução e tempo de aplicação das argamassas conduzem a uma alteração significativa das suas propriedades, nomeadamente ao nível do seu comportamento mecânico.

É importante que em obra se inicie um processo de determinação da consistência, do qual se destaca o método de penetração, pois através de uma forma expedita e sem recurso a equipamento avançado, pode-se obter informação relevante sobre a qualidade da argamassa para aplicação.

8. CONCLUSÕES

8. Conclusões

Com a realização deste trabalho conclui-se que as argamassas, material de construção com milhares de anos de existência, sofreram uma evolução importante, apesar da sua formulação assentar no mesmo princípio, mistura de um ou mais agentes ligantes com uma carga de agregados.

Esta evolução, resultante do desenvolvimento da construção civil durante as últimas décadas, deve-se sobretudo, às preocupações com a racionalização de custos, com o cumprimento de prazos, com a qualidade e durabilidade do trabalho acabado, com as questões ligadas à limpeza e arrumação do estaleiro e obra, principalmente nos grandes centros urbanos com a falta de espaço disponível para estaleiros de obra. Neste contexto, surgem as argamassas industriais prontas: argamassas estabilizadas e secas, feitas em unidades dedicadas.

As unidades industriais, dotadas de tecnologia adequada, permitem garantir as vantagens acima referidas, mas sobretudo, possuem a capacidade de desenvolver e produzir argamassas específicas para um determinado fim, através da introdução na sua formulação de adjuvantes e adições responsáveis pela modificação de algumas propriedades.

Este trabalho permite concluir também, que o sector das argamassas industriais em Portugal encontra-se em franco crescimento, especialmente as argamassas secas. Estas últimas, em 2003 apresentaram um aumento de 7% e em 2004 cerca de 14%, representando assim, 20% do mercado global das argamassas. Muito embora este sector apresente um crescimento expansivo, ainda é pouco expressivo, quando comparado com as argamassas feitas em obra.

Esta evolução surge de forma sustentada com a implantação de novas empresas, mas sobretudo, pela expansão das empresas já existentes no mercado e diversificação das suas gamas de produtos.

Acompanhando a tendência europeia, prevê-se que o seu crescimento se mantenha durante os próximos anos, quer por estar associado ao crescimento progressivo da taxa

de substituição de argamassas tradicionais por argamassas industriais, quer pela repartição dos investimentos na construção, com destaque para o sector da recuperação/reabilitação de edifícios em detrimento da construção nova, exigindo deste modo, necessidades específicas na área da reabilitação e reparação. Realça-se assim, a importância do desenvolvimento de novas argamassas compatíveis com materiais já existentes e aplicados, como uma oportunidade de negócio futuro.

Com a crescente utilização das argamassas industriais, com a velocidade exigida ao processo de construção, com a aplicação de novos produtos e métodos, falta de sistematização do conhecimento aliada à ausência de informação técnica documentada e consolidada, surgem patologias específicas que levam a situações de não qualidade das construções, situações estas que exigem processos de diagnóstico para avaliação das manifestações associadas.

O processo de diagnóstico revela-se geralmente uma tarefa complexa mas essencial para o sucesso das acções de tratamento, reabilitação e de eliminação de fenómenos anómalos recorrentes.

De acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada, conclui-se que já existem descritas, de forma sistematizada, as principais patologias e possíveis causas, bem como as respectivas técnicas de tratamento.

Relativamente aos estudos de caso aqui discutidos, a tónica foi dada à adição de produtos à mistura inicial dos rebocos prontos, com o objectivo de alterar o seu comportamento. Foi possível concluir que o efeito de adição quer do cimento, provocando um excesso de ligante na composição do reboco pronto de ligante misto de cal hidráulica e cimento, quer do gesso como acelerador de presa acabam por ter um efeito nocivo com manifestações patológicas características.

No primeiro caso, a adição de excesso de cimento, realizada geralmente com o objectivo de melhorar o comportamento mecânico, acaba por se verificar gravosa mesmo para o teor mais baixo (5%) originando uma fissuração do tipo aleatória mapeada. Com a adição de 10%, verificou-se um agravamento da fissuração orientada nos ensaios de parede, devido à retracção mais acentuada nas idades jovens dos rebocos que foram alterados.

No segundo caso, assiste-se à introdução do gesso de construção, de fácil acesso em qualquer obra habitacional, com o objectivo de acelerar a presa das argamassas, especialmente em tempo frio, originando uma patologia significativa de fissuração do reboco com destacamento da superfície sob uma camada desagregada (tipo “côdea de broa”) que em tudo faz lembrar as argamassas hidráulicas amolentadas.

Neste âmbito, também foram sugeridas as respectivas estratégias de tratamento, dependendo da gravidade das mesmas.

No terceiro caso, é possível concluir que práticas erradas ou pouco rigorosas na execução e tempo de aplicação das argamassas, bem como no uso de excessos de água, conduzem a uma alteração significativa das suas propriedades, nomeadamente ao nível do seu comportamento mecânico.

Deste modo é importante, que em obra se inicie um processo de determinação da consistência, do qual se destaca o método de penetração, pois através de uma forma expedita e sem recurso a equipamento avançado se pode correlacionar com o método utilizado em laboratório, desde que indicado pelo produtor de argamassas.

A análise destes 3 estudos de caso, permite ainda, retirar as seguintes conclusões:

- É de extrema importância a compatibilidade de todos os constituintes da formulação das argamassas, pois o seu resultado pode comprometer o desempenho das mesmas.
- A aplicação e uso destas argamassas devem ser realizados de acordo com as indicações fornecidas pelos produtores, sem adições às formulações de fábrica e seguindo todas as recomendações associadas, por exemplo, em relação à água de amassadura.
- Para elaborar um diagnóstico é essencial o conhecimento aprofundado dos materiais em questão, do seu comportamento e das técnicas de construção, bem como a adopção de metodologias rigorosas de observação, registo e análise, nomeadamente através de equipamentos de análise e medição, das manifestações patológicas.
- No que se refere ao tratamento das patologias, as estratégias gerais passam por reabilitação e/ou estabilização das manifestações ou respectiva reposição das áreas afectadas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. Referências bibliográficas

- [1] Bayer, R; Lutz, H; "Dry Mortars – Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry" Wiley – VCH, Germany, 2003
- [2] Branco, J. Paz; "Manual do Pedreiro", LNEC, Lisboa, 1981
- [3] Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Anagnostopoulou, S; "Composite materials in ancient structures", Cement and Concrete Composites 27 (2005), pp 295 – 300.
- [4] Sabbioni, C; Bonazza, A.; Zappia, G.; "Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal", Journal of Cultural Heritage 3 (2002), pp 83 – 88.
- [5] Lanas, J.; Pérez-Bernal, J.L.; Bello, M.A.; Alvarez Galindo, J.I.; "Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars", Cement and Concrete Research 34 (2004), pp 2191 – 2201.
- [6] Real, F.; "Portugal das Origens à Época Romana, Museu Nacional de Arqueologia e Etnologia", Instituto Português do Património Cultural, 2001.
- [7] Veiga, M.R.; "Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação". Dissertação de Doutoramento, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 1998.
- [8] Benett, B; "Lime Plaster and render reinforcement", The Building Conservation Directory, 2002.
- [9] Marzo, J.A; "Evolucion en la fabricacion de mortero para la construccion", Revista Hormigon, 40, 1997
- [10] Coutinho, A. Sousa; "Fabrico e propriedades do betão", Volume I – Propriedades das matérias-primas; Volume II – Fabrico, Lisboa, 1988.
- [11] <http://www.euromortar.com>
- [12] <http://www.apfac.pt>
- [13] EMOdico, Dicionário Técnico, European Mortar Industry Organization, 3rd Ed, 2001.
- [14] Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Bisbikou, K.; "Investigation of the technology of historic mortars", Journal of Cultural Heritage 1 (2000), pp 45 – 58.
- [15] Moropoulou, A.; Polikreti, K.; Bakolas, A.; Michailidis, P.; "Correlation of physicochemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics", Cement and Concret Research 33 (2003), pp 891 – 898.

- [16] Genestar, C; Pons, C.; "Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterization", *Journal of Cultural Heritage* 4 (2003), pp 291 - 298.
- [17] Warren, J.; "Conservation of Brick", Cap.12 – Mortars, Renderings and Plasters, Butterworth Heinemann, England, 1999.
- [18] "Aggregates. Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes", Edited by Smith, M.R.; Collis, L.; Geological Society, England, 1993.
- [19] EN 998-1:2003, "Specification for mortar for masonry Part 1: Rendering and plastering mortar", CEN, 2003.
- [20] EN 998-2:2003, "Specification for mortar for masonry Part 2: Masonry mortar", CEN, 2003.
- [21] Mateus, J.M.; "Técnicas tradicionais de construção de alvenarias", Livros Horizonte, Lisboa, 2002.
- [22] NP EN 12004:2004, "Colas para ladrilhos – Definições e especificações", IPQ, 2004.
- [23] APICER; CTCV; DEC- FCTUC – "Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos", Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2003.
- [24] ANEFHOP; AFAM; "Proyecto de Instrucción para la Recepción de Morteros para Albañilería", Madrid, 2003.
- [25] Falcão Bauer, L.A.; "Materiais de Construção 1", LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, SA, 1994.
- [26] Marques, S.; "Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos", Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2005.
- [27] Velho, J.; Gomes, C.; Romariz, C.; "Minerais Industriais", Universidade de Aveiro, 1998
- [28] Veiga, M.R.; "As argamassas na conservação", comunicação apresentada nas 1^{as} Jornadas de Engenharia Civil, Aveiro, 2003.
- [29] Lanas, J.; Alvarez, J.I.; "Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior", *Cement and Concrete Research* 33 (2003), pp 1867 – 1876.
- [30] Franzini, M.; Leoni, L.; Lezzerini, M.; "A procedure for determining the chemical composition of binder and aggregate in ancient mortars: its application to mortars from some medieval buildings in Pisa", *Journal of Cultural Heritage* 1 (2000), pp 365 – 373.
- [31] NP EN 13139:2005, "Agregados para argamassas", IPQ, 2005

- [32] EN 197-1:2000/A 1:2004 (Ed. 1); "Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, IPQ.
- [33] NP 4326:1996; "Cimentos brancos. Composição, tipos, características e verificações da conformidade, IPQ, 1ª Ed., 1996.
- [34] NP EN 459-1:2002; "Cal de Construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade", IPQ, 1ª Ed., 2002.
- [35] Rodrigues, P.F.; Henriques, F.M.A.; "Avaliação comparativa de cais aéreas correntes", 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2003.
- [36] Elert, K; Cultrone, G.; Rodriguez Navarro, C.; Sebastián Pardo, E.; Hanson, E., Cazalla, O.; "Lime mortars for the conservation of historic buildings", Studies in Conservation 47 (2002), pp.62-75.
- [37] Oliveira, M.M.; Santiago, C.C.; Amaral, A.M.; Franco, T.F.S.; "Estudo de algumas argamassas tradicionais de cais", 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2003.
- [38] Kawiak, T.; "Gypsum mortars from twelfth-century church in Wislica, Poland", Studies in Conservation 36 (1991), pp.142 -1570.
- [39] EN 13318:2000; "Screed material and floor screeds - Definitions", CEN, 2000
- [40] M. Venuat; M. Papadakis; "Controle et essais Ciments, mortiers, betons"; Eyrolles, Paris, 1961.
- [41] Domone, P.L.; "Construction Materials – Their nature and behaviour", Part 3 – Concrete, E & FN SPON, 2nd, England, 1994.
- [42] Leonhardt, F.; Monnig, E.; "Construções de concreto", Volume 1, Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- [43] Edmeades, Rodney M.; Hewlett, Peter C.; "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", Cap. 15 – Cement Admixtures, 4th Ed, Butterworth Heinemann, England, 1998.
- [44] Hendry, A. W.; Sinha, B.P.; Davies, S.R.; "Design of masonry structures", 3rd Edition, E & FN Spon, England, 1997.
- [45] Vekey, R.C.; "Construction Materials – Their nature and behaviour", Part 5 – Brickwork and, E & FN SPON, 2nd, England, 1994.
- [46] Shannag, M.J.; Yeginobali, A.; "Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan", Cement and Concrete Research 25 (1995), pp. 647-657.

- [47] Targan, S.; Olgun, A.; Erdogan, Y.; Sevigne, V.; Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on properties of Portland cement", Cement and Concrete Research 33 (2003) pp 1175 – 1182.
- [48] EN 1015; "Methods of test for mortar for masonry", Partes 1-19, 1998 – 2002.
- [49] Martins, J.M.; "A nova geração de fábricas de Argamassas", Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4, Brasília, DF, 2001
- [50] Nakakura, E.H., "Análise e Classificação das Argamassas Industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC, Dissertação de Mestrado, Univ. S. Paulo, Brasil, 2003.
- [51] Abrantes, A.; Saraiva, S.; "Manual Prático para a Gestão Ambiental" Verlag Dashöfer, 2004.
- [52] Ângulo, S.; Zordan, S.; John, V.; "Desenvolvimento sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil", PCC – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de S. Paulo.
- [53] Manan, M., Ganapathy, C.; "Concrete from agricultural waste-oil palm shell (OPS)", Building and Environmental 39 (2004): 441-448.
- [54] Pinto S., Rosenbom, K.; Correia, A; Labrincha, J.; Ferreira, V.; "Recycling Industrial Wastes in Lightweight Aggregates Production", Proceedings of "REWAS – Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technologies" TMS publications, Madrid, Vol. 3 (2004), pp. 2817-2818.
- [55] Miranda, L.; Selmo, S.; "Avaliação do Efeito de Entulhos Reciclados nas Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido, por Procedimentos Racionais de Dosagem", Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3., Vitória, 1999.
- [56] Cabrera, J.; "Morteros de Albañilería com Escombros de Demolición", Materiales de Construccion, v. 47, n.º 246, p 43-8, Abr./Jun., 1997
- [57] Miranda, L.; Selmo, S.; "CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finner than 75 µm on mortar properties", Construccion and Building Materials, (2005).
- [58] Miranda, L.; Selmo, S.; "CDW recycled aggregate renderings: Part II – Analysis of the effect of materials finner than 75 µm under accelerated aging performance", Construccion and Building Materials, (2005).
- [59] Nagataki, S.; Gokce, A.; Saeki, T.; Hisada, M.; "Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates", Cement and Concrete Researsch 34 (2004) pp. 965 – 971.

- [60] Bianchini, G.; Marrocchino, E.; Tassinari, R.; Vaccaro, C. " Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical-mineralogical appraisal", Waste Management 25 (2005) pp. 149 - 159.
- [61] Shan, H.; Meegoda, J.; "Construction use of abandoned soils", Journal of Hazardous Materials 58 (1998) pp. 133 - 145.
- [62] Costa, A.; "A Qualidade na Construção / Reabilitação e Reforço de Estruturas", 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003.
- [63] Instituto Técnico para a Indústria da Construção; "Perspectivas de Evolução da Sector da Construção", Portugal, Dez., 2004.
- [64] AECOPS; "A Construção Civil e Obras Públicas em 2003. Perspectivas de Evolução, AECOPS, Jan. 2004.
- [65] Abrantes, V., Freitas, V. P. & Sousa, M, "Reabilitação de edifícios – Estudo do comportamento e análise técnico-económica das soluções utilizadas nas obras de conservação e reabilitação de 32 empreendimentos, FEUP/LNEC, Porto, 1998.
- [66] Lanzinha, J.; Freitas, V.P.; Gomes, J.; "Metodologia de diagnóstico exigencial aplicada à reabilitação de edifícios de habitação", 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003.
- [67] Lourenço, Bettina C. G.; "Reintegração das argamassas históricas", 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, 2003.
- [68] Anagnostopoulos, A.C.; "Polymer-cement mortars for repairing ancient masonries mechanical properties", Construccin and Building Materials, 16 (2002), pp 379-384.
- [69] Freitas, V.P.; "Patologias e Reabilitação de Edifícios", 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003.
- [70] Rodrigues, R.; Westcot P.; "Sistema pericial de apoio ao diagnóstico de patologias em edifícios", 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003.
- [71] Pedro, E.; Maia, L.; Rocha, M.; Chaves, M.; "Patologia em Revestimentos Cerâmicos de Fachada", CECON, Brasil, 2002.
- [72] Silva, H.; Heitor, T.; "O Elemento "Fachada" em Projectos de Reconversão / Requalificação", Congresso Nacional Construção 2001, IST, (2001) pp. 775-782.
- [73] Colen, I.; Brito, J.; "Anomalias em Fachadas de Edifícios Correntes", 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, 2003, pp.499-508.
- [74] Paiva, J. & Veiga, R.; "Aspectos gerais dos revestimentos de paredes", Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes, LNEC, 1996.

- [75] Flores, I.; "Estratégias de Manutenção – Elementos da Envolvente de Edifícios Correntes", Dissertação de Mestrado, IST, 2002.
- [76] Addleson, L.; "Building Failures – A Guide to Diagnosis, Remedy and Prevention", 3^a Ed., Revista Butterworth Architecture, Oxford, 1992.
- [77] Veiga, M. R.; "Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética", Curso de especialização sobre revestimentos de paredes, LNEC, 1996.
- [78] Lucas, J., "Alguns Casos de Patologia em Azulejos, ITCM5, LNEC, 1990.
- [79] Lucas, J. "Revestimentos Cerâmicos, Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes", LNEC, 1996.
- [80] Ricardo, S.; "Modelo de Garantia de Revestimentos em Pedra Natural de Paramentos Verticais", Dissertação de Mestrado, IST, 1992.
- [81] prEN 1015-13, Methods of test for mortar for masonry – Determination of dimensional stability of hardened mortar, CEN, Sept. 1995.
- [82] Miranda, L.R.; "Estudo de factores que influem na fissuração de revestimentos de argamassas com entulho reciclado", Tese de mestrado, Univ. S. Paulo, Brasil, 2000.
- [83] Secil Martingança, Ficha Técnica REABILITA RBR20, Set. 2005.
- [84] Mascarenhas, J.; "Sistemas de construção II – Paredes: paredes exteriores (1^a parte), Ed. Livros Horizonte, 3^aEd., Lisboa, 2004.
- [85] Córias e Silva, V.; "Guia Prático para a Conservação de Imóveis", Dom Quixote, Lisboa, 2004.
- [86] NP EN 196-2; "Métodos de ensaio de cimentos – parte 2: Análise química dos cimentos", IPQ, 1996.
- [87] Skalny, J.; Mindess, S.; "Materials Science of Concrete II", The American Ceramic Society Inc., 1991.